



## **UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO NÍVEL MÉDIO ATRAVÉS DA NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA**

**Eduardo Pinheiro Correia**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF – Polo 30), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Maria Lúcia Grillo Perez Baptista

Rio de Janeiro

Dezembro, 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

*Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – PROFIS-UNIRIO*

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Eduardo Pinheiro Correia**

*Título: Uma proposta de Ensino de Física Moderna e Contemporânea no nível médio através da Nanotecnologia e Nanociência*

Aprovado(a) pela Banca Examinadora

Rio de Janeiro, 08/12/2020

---

Profa. Dra. Maria Lúcia Grillo Perez Baptista  
(orientadora)

---

Profa. Dra. Munich Ribeiro de Oliveira Lopes  
(avaliador externo)

---

Prof. Dr. José Abdalla Helayël-Neto  
(avaliador interno)

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Rodrigues de Souza  
(avaliador externo)

---

Prof. Dr. Leonardo Mondaini  
(avaliador interno)

## FICHA CATALOGRÁFICA

C824      Correia, Eduardo Pinheiro  
            Uma proposta de ensino de física moderna e  
            contemporânea no nível médio através da  
            nanotecnologia e nanociência / Eduardo Pinheiro  
            Correia. -- Rio de Janeiro, 2020.  
            144p

            Orientadora: Maria Lúcia Grillo Perez Baptista.  
            Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do  
            Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação  
            em Ensino de Física, 2020.

            1. Ensino de física. 2. Aprendizagem  
            significativa. 3. Sala de aula invertida. 4.  
            Nanotecnologia e Nanociência. 5. Física moderna e  
            contemporânea. I. Grillo Perez Baptista, Maria  
            Lúcia, orient. II. Título.

\*Código da obra (fornecido pela biblioteca)

Consultar: <http://www.biblioteca.unirio.br/servicos-1/fichas-catalogaficas>

Dedico esta dissertação ao meu pai, Celso José Correia, in memória; à minha mãe, Rose Mary Pinheiro Correia; à minha esposa, Raquel Alves Barbosa Correia; e ao meu filho Carlos Eduardo Barbosa Correia.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a Deus, por me guiar nessa vitória; à minha esposa, Raquel Alves Barbosa Correia, por me incentivar sempre nessa conquista; ao meu filho, Calos Eduardo Barbosa Correia, por ser a minha inspiração para o êxito; à minha mãe, por sempre me encorajar; e ao meu saudoso pai Celso José Correia, mesmo não estando mais presente neste mundo, quem sempre me incentivou a estudar e a buscar novas conquistas.

Agradeço, também, à minha orientadora, Doutora Maria Lúcia Grillo Perez Baptista; aos companheiros de classe, que estiveram junto a mim ao longo dessa jornada; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) – Código De financiamento 001, cujo apoio imprescindível tornou possível a realização do presente estudo.

*“A gravidade explica os movimentos dos planetas, mas não pode explicar quem colocou os planetas em movimento. Deus governa todas as coisas e sabe tudo que é ou que pode ser feito.” (Isaac Newton)*

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo chamar a atenção para a inserção da Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio, um dos problemas existentes, no ensino de física atual. Aqui buscarei introduzir esse conceito através da Nanotecnologia e Nanociência, baseado nas seguintes metodologias adotadas: a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e a sala de aula invertida. Para tal, serão apresentados os conceitos: de novos materiais; ligações atômicas; a importância da Física da matéria condensada em dispositivos eletrônicos, como primeiro passo da miniaturização, através da invenção dos transistores; a comprovação da teoria corpuscular da matéria através do movimento Browniano; as mudanças das propriedades físicas dos materiais quando são miniaturizados; os nanomateriais para aplicações industriais; e as aplicações de nanotecnologia na indústria e seus possíveis impactos no meio ambiente.

Para o cumprimento do proposto no presente, foi elaborado um produto educacional, o qual será aqui apresentado, visando a inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino básico, através de conceitos da Nanotecnologia e Nanociência, com o enfoque na produção de nanomateriais. O produto foi introduzido, como será visto, a partir de uma problematização e de uma breve revisão de notação científica. Para a compilação desta pesquisa, foram utilizados testes de sondagem, para verificar os conhecimentos prévios dos alunos; filmes; textos complementares; atividades experimentais; e o uso de programas de computadores, inclusive de alguns sugeridos, como: Phet simulações Interativas e Brownian Motion. Além de cinco aulas teste previstas e realizadas com sucesso, uma vez que, à medida que os encontros aconteciam, a participação dos alunos se tornava mais acentuada, com perguntas e questionamentos sobre o universo nano.

Palavras-chaves: Ensino de física; Aprendizagem significativa; Sala de aula invertida; Nanotecnologia e Nanociência; Física moderna e contemporânea.

## **ABSTRACT**

This work aims to draw attention to the insertion of Modern and Contemporary Physics in the high school curriculum, one of the existing problems in the teaching of current physics. Here I will try to introduce this concept through Nanotechnology and Nanoscience, based on the following methodologies adopted: David Ausubel's Theory of Meaningful Learning and the inverted classroom. For that, the concepts will be presented: of new materials; atomic bonds; the importance of Physics of condensed matter in electronic devices, as the first step of miniaturization, through the invention of transistors; the proof of the corpuscular theory of matter through the Brownian movement; changes in the physical properties of materials when they are miniaturized; nanomaterials for industrial applications; and the applications of nanotechnology in the industry and its possible impacts on the environment.

For the fulfillment of the proposal in the present, an educational product was elaborated, which will be presented here, aiming at the insertion of Modern and Contemporary Physics in basic education, through concepts of Nanotechnology and Nanoscience, with a focus on the production of nanomaterials. The product was introduced, as will be seen, from a problematization and a brief review of scientific notation. To compile this research, probing tests were used to verify the students' previous knowledge; movies; complementary texts; experimental activities; and the use of computer programs, including some suggested, such as: Phet Interactive simulations and Brownian Motion. In addition to five test classes planned and carried out successfully, since, as the meetings took place, student participation became more accentuated, with questions and inquiries about the nano universe.

**Keywords:** Physics teaching; Meaningful learning; Flipped classroom; Nanotechnology and Nanoscience; Modern and contemporary physics.

Rio de Janeiro

December, 2020

# Sumário

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>19</b>
1.1.1 Objetivo geral.....	19
1.1.2 Objetivos específicos .....	20
<b>1.2 Por que ensinar Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio? .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3 Referencial teórico .....</b>	<b>22</b>
1.3.1 Aprendizagem significativa de Ausubel.....	22
1.3.2 Aprendizagem ativa .....	25
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>28</b>
<b>FUNDAMENTOS DOS NOVOS MATERIAIS .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1 Classificação dos materiais .....</b>	<b>29</b>
2.1.1 Materiais metálicos .....	30
2.1.2 Materiais poliméricos (Plástico).....	30
2.1.3 Materiais cerâmicos .....	30
2.1.4 Materiais compósitos.....	31
<b>2.2 A influência da física do estado sólido e da matéria condensada na eletrônica .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3 Ligações atômicas .....</b>	<b>37</b>
<b>2.4 Interações atômicas .....</b>	<b>37</b>
2.4.1 Ligações iônicas .....	38
2.4.2 Ligações covalentes.....	39
2.4.3 Ligações moleculares .....	40
2.4.4 Ligações metálicas .....	40
<b>2.5 Materiais cristalinos .....</b>	<b>41</b>
<b>2.6 O movimento Browniano.....</b>	<b>43</b>

<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>46</b>
<b>A NANOTECNOLOGIA E A NANOCIÊNCIA</b> .....	<b>46</b>
<i>3.1 Escalas de medidas</i> .....	<b>46</b>
<i>3.2 Os primeiros passos da nanotecnologia e nanociência</i> .....	<b>48</b>
<i>3.3 Os nanomateriais</i> .....	<b>51</b>
<i>3.4 Área superficial e o efeito em nanoestruturas</i> .....	<b>53</b>
<i>3.5 Tipos de nanoestruturas: 0d,1d e 2d</i> .....	<b>56</b>
<i>3.6 Os nanomateriais à base de carbono</i> .....	<b>58</b>
<i>3.6.1 Aplicações em potencial dos nanomateriais à base de carbono na indústria</i> .....	<b>61</b>
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>64</b>
<b>APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DE NANOTECNOLOGIA NO MERCADO E SEUS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE E NA SAÚDE</b> .....	<b>64</b>
<i>4.1 Aplicações atualmente no mercado</i> .....	<b>65</b>
<i>4.2 O impacto da nanotecnologia no ambiente e na saúde</i> .....	<b>67</b>
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>69</b>
<b>O PRODUTO EDUCACIONAL</b> .....	<b>69</b>
<i>5.1 Introdução</i> .....	<b>69</b>
<i>5.2 Objetivo geral</i> .....	<b>70</b>
<i>5.3 Objetivos específicos</i> .....	<b>70</b>
<i>5.4 Fundamentação teórica</i> .....	<b>70</b>
<i>5.5 Metodologia</i> .....	<b>71</b>

<b>5.6</b>	<b>Problematização</b>	<b>71</b>
5.6.1	Situação-problema	72
<b>5.7</b>	<b>Revisão sobre notação científica e ordem de grandeza</b>	<b>72</b>
5.7.1	Notação científica	73
5.7.2	Ordem de grandeza	75
<b>5.8</b>	<b>Trabalhando com escalas de medidas</b>	<b>76</b>
5.8.1	Teste de sondagem sobre trabalhando com escalas de medidas	76
5.8.2	Calculando a estimativa da espessura de uma folha de papel	76
5.8.3	Calculando a estimativa da largura de uma trilha de gravação de um disco de vinil	77
<b>5.9</b>	<b>Introdução aos conceitos de átomos e moléculas</b>	<b>77</b>
5.9.1	Teste de sondagem sobre introdução aos conceitos de átomos e moléculas	77
5.9.2	Utilização do programa Phet simulações interativas estados da matéria: básico	78
5.9.3	Realizando o experimento do movimento Browniano	78
<b>5.10</b>	<b>Nanotecnologia e Nanociência uma inovação científica</b>	<b>79</b>
5.10.1	Teste de sondagem sobre Nanotecnologia e Nanociência e análise de texto complementar	79
5.10.2	Nanotecnologia e nanociência: uma inovação tecnológica inserida através de filmes de ficção científica	80
5.10.3	Teste de sondagem - filme Homem-Formiga	81
<b>5.11</b>	<b>Alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho</b>	<b>81</b>
5.11.1	Teste de sondagem sobre alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho	82
5.11.2	A variação da razão área/volume de um material: experimento com grãos de café	82
5.11.3	A variação da razão área/volume de um material: experimento geométrico	83
5.11.4	A variação da razão área/volume de um material: acelerando as reações químicas	83
<b>5.12</b>	<b>Experimentos que ilustram situações de nanomateriais</b>	<b>83</b>
5.12.1	Calculando a espessura de um filme fino de óleo sobre a água	84
5.12.2	Auto-arranjos: estratégia bottom-up	85
<b>5.13</b>	<b>Apresentação de vídeos sobre os nanomateriais à base de carbono na indústria, potenciais aplicações da nanotecnologia e seus impactos na saúde e meio ambiente</b>	<b>85</b>
5.13.1	Vídeos apresentados	85
5.13.2	Os nanomateriais a base de carbono na indústria	86
5.13.3	Potenciais aplicações da nanotecnologia	86
5.13.4	Impactos na saúde e no meio ambiente através da nanotecnologia	86
<b>CAPÍTULO 6</b>		<b>87</b>

<b>APLICANDO O PRODUTO EDUCACIONAL.....</b>	<b>87</b>
<b>6.1 Cronograma de aplicação do produto educacional.....</b>	<b>87</b>
<b>6.2 Situação-problema .....</b>	<b>88</b>
<b>6.3 Revisão sobre notação científica e ordem de grandeza .....</b>	<b>89</b>
<b>6.4 Trabalhando com escalas de medidas .....</b>	<b>90</b>
6.4.1 Teste de sondagem sobre escalas de medidas.....	90
6.4.2 Calculando a estimativa da espessura de uma folha de papel .....	90
6.4.3 Calculando a estimativa da largura de uma trilha de gravação de um disco de vinil .....	92
6.5.1 Teste de sondagem sobre átomos e moléculas .....	93
6.5.2 Utilização do programa PHET estados da matéria: básico.....	94
6.5.3 O movimento Browniano .....	97
<b>6.6 Nanotecnologia e Nanociência .....</b>	<b>101</b>
6.6.1 Teste de sondagem sobre nanotecnologia e nanociência e análise de texto complementar .....	101
6.6.2 Nanotecnologia e nanociência uma inovação tecnológica inserida através de filmes de ficção científica .....	103
6.6.3 Teste de sondagem - filme Homem-Formiga .....	103
<b>6.7 Alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho .....</b>	<b>104</b>
6.7.1 Teste de sondagem sobre alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho .....	104
6.7.2 A variação da razão área/volume de um material: experimento com grãos de café.....	105
6.7.3 A variação da razão área/volume de um material: experimento geométrico.....	109
6.7.4 A variação da razão área/volume de um material: acelerando as reações químicas .....	110
6.8.1 Calculando a espessura de um filme fino de óleo sobre a água.....	112
6.8.2 Auto-arranjos estratégia bottom-up.....	115
<b>6.9 Apresentação de vídeos sobre: os nanomateriais à base de carbono na indústria, potenciais aplicações da nanotecnologia e seus impactos na saúde e no meio ambiente ..</b>	<b>116</b>
6.9.1 Vídeos apresentados .....	116
6.9.2 Os nanomateriais a base de carbono na indústria.....	116
6.9.3 Potenciais aplicações da nanotecnologia.....	117
6.9.4 Impactos na saúde e no meio ambiente através da nanotecnologia .....	117
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>118</b>

<b>APÊNDICE A – 1ª AULA</b> .....	<b>119</b>
<b>APÊNDICE B - 2ª AULA</b> .....	<b>125</b>
<b>APÊNDICE C - 3ª AULA (PARTE 1)</b> .....	<b>127</b>
<b>APÊNDICE C – 3ª AULA (PARTE 2)</b> .....	<b>128</b>
<b>APÊNDICE D – 4ª AULA</b> .....	<b>129</b>
<b>APÊNDICE E – 5ª AULA</b> .....	<b>132</b>
<b>APÊNDICE F – 6ª AULA</b> .....	<b>134</b>
<b>ANEXO I</b> .....	<b>136</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>140</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo da evolução dos materiais .....	29
Figura 2 – Comparação Entre Diversas Estruturas.....	33
Figura 3. Válvulas a vácuo .....	34
Figura 4. Primeiro Transistor construído em 1947.....	35
Figura 5. Estrutura formada pelo NaCl .....	38
Figura 6. A energia de interação entre $\text{Na}^+$ e $\text{Cl}^-$ em função da distância .....	39
Figura 7. Ligação covalente em um cristal de silício .....	40
Figura 8. Ligações metálicas (mar de elétrons).....	41
Figura 9. Ilustração das células das 14 possíveis redes cristalinas em três dimensões.....	42
Figura 10. Partícula executando o movimento Browniano .....	44
Figura 11. Comparação entre as escalas macro, micro e nano .....	47
Figura 12. O uso dos nanomateriais em tempos remotos .....	49
Figura 13. Marcos históricos da nanotecnologia e nanociência .....	50
Figura 14. Ilustração de obtenção de partículas de baixo para cima (bottom-up) e de cima para baixo (top-down) .....	52
Figura 15. A figura representa um cubo de lado L e esfera de raio R.....	53
Figura 16. Representação do aumento da área superficial .....	55
Figura 17. Esquema relacionando as diferentes dimensões em um cubo, 3 a 0D.....	57
Figura 18. Diferentes dimensões observadas na estrutura do carbono de 3D, 2D, 1D e 0D....	58
Figura 19. Representação dos nanotubos de carbono de paredes únicas e múltiplas.....	59
Figura 20. Fulereo $\text{C}_{60}$ .....	60
Figura 21. Camada de grafeno.....	60
Figura 1a. Representação de um objeto nanométrico.....	72
Figura 2 a. Aluna respondendo às perguntas da problematização.....	89
Figura 3 a. Alunos realizando as atividades do produto educacional.....	91

Figura 4 a. Medindo a espessura do pacote de folhas.....	91
Figura 5 a. O cálculo da espessura de uma folha de papel realizado pelos alunos.....	91
Figura 6 a. Realizando a medida de uma faixa sonora de um disco de vinil.....	92
Figura 7 a. O cálculo da espessura de uma trilha sonora realizado pelos de alunos.....	93
Figura 8 a. Demonstração do comportamento das moléculas de água no estado sólido.....	95
Figura 9 a. Demonstração do comportamento das moléculas da água no estado líquido.....	96
Figura 10 a. Demonstração do comportamento das moléculas de água da no estado gasoso....	96
Figura 11 a. Microscópio simples.....	97
Figura 12 a. Colocando a mistura de leite com água na lâmina.....	98
Figura 13 a. Colocando a lâmina com a mistura de leite com água no microscópio.....	98
Figura 14 a. Utilizando o microscópio para visualizar o movimento das moléculas.....	99
Figura 15 a. Movimento das moléculas de leite imersas na camada de água.....	99
Figura 16 a. Simulação do movimento Browniano.....	100
Figura 17 a. Texto complementar.....	102
Figura 18 a. Leitura do texto complementar.....	102
Figura 19 a. Apresentação do filme Homem-Formiga.....	103
Figura 20 a. Fazendo café com os grãos triturados.....	106
Figura 21 a. Café saindo com cor preta pelo coador.....	107
Figura 22a. Fazendo café com os grãos inteiros.....	107
Figura 23a. Café saindo com cor clara pelo coador.....	108
Figura 24a. Comparação da cor do café feito com grãos triturados e moídos.....	108
Figura 25a. O cálculo da razão área/volume de um cubo em contato com o ar, realizado por um grupo de alunos.....	109
Figura 26a. Montando o experimento.....	111
Figura 27a. Ligando a palha de aço aos polos da bateria.....	111
Figura 28a. Palha de aço pegando fogo.....	112
Figura 29a. Mancha de óleo na superfície da água.....	114
Figura 30a. Experimento de auto-arranjo (blocos espalhados).....	115
Figura 31a. Experimento de auto-arranjo (blocos juntos).....	116
Figura 1 b. Representação de um objeto nanométrico.....	119

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Constituição e características dos materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos.....	32
Tabela 2. Número, aresta, área superficial e escala dos cubos partindo da escala macroscópica até a nanométrica.....	54
Tabela 3. Número, aresta, área superficial e escala das esferas partindo da escala macroscópica até a escala nanométrica.....	55
Tabela 4. Aplicações de nanotecnologia em diversas áreas.....	64
Tabela 1a. Prefixos do SI (Sistema Internacional de Medidas).....	74
Tabela 2a Exemplos de prefixos utilizados no SI.....	74
Tabela 1b. Prefixos do SI (Sistema Internacional de Medidas).....	121
Tabela 2b. Exemplos de prefixos utilizados no SI.....	122

.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Temos visto que a ciência está sendo cada vez mais presente em nosso cotidiano com a tecnologia, através da utilização de aparelhos como celular; televisões de alta definição; câmeras digitais; computadores; leitores de código de barras; aparelhos de ressonância magnética; raios-x; laser; etc. Segundo Oliveira, Vianna, & Gerbassi (2007), esses avanços tecnológicos têm despertado nos estudantes um maior interesse no que diz respeito à ciência de forma geral.

Sabe-se que a física tem contribuído muito para esse desenvolvimento. Mas, quando se trata da física que é ensinada, particularmente no Ensino Médio, isso não vem ocorrendo, gerando, assim, um distanciamento cada vez maior dos conteúdos necessários para a compreensão das tecnologias atuais.

O que tenho visto durante esse tempo em que leciono física é que os materiais escolares utilizados em sala de aula não fazem uma relação com a tecnologia que nos cerca diariamente, com essa física que existe por de traz. Para Oliveira, Vianna, & Gerbassi (2007), o modelo de ensino tradicional tem como base a aplicação das leis e das equações que descrevem os fenômenos físicos, como prioridade no ensino de física. Dessa forma, esse modelo de ensino toma a ciência como algo finalizado sem ter mais nada a ser descoberto. Para Oliveira, Vianna & Gerbassi:

A lacuna provocada por um currículo de física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno. Isso não permite que ele compreenda qual a necessidade de se estudar essa disciplina que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social que a física desempenha no mundo em que vive. (OLIVEIRA, VIANNA, & GERBASSI, 2007, p. 448)

Conforme Oliveira, Vianna, & Gerbassi (2007), um dos fatores que contribuem para isso é o fato da desatualização do currículo, que resulta em uma prática pedagógica totalmente fora da realidade do aluno. Isso não deixa o aluno ser capaz de entender o motivo pelo qual ele tem que estudar física, onde a maioria das aulas são ministradas com ênfase a formalismos matemáticos. Esse fator é agravado quando o aluno conclui o ensino médio e segue em direção a novas carreiras que não estão direcionadas à formação científica, quando o último contato do aluno com a física foi no ensino médio. Com base nisso, vemos que diversos fatores, que contribuem de forma negativa ao Ensino Médio, acabam atrapalhando boa parte dos alunos de

obterem uma formação científica mais consistente e que esteja inserida em sua realidade, que auxilie na formação de sua cidadania.

Segundo as Orientações Curriculares Para o Ensino Médio (2006), fica, então, o questionamento de “Por que ensinar Física? E para quem ensinar Física?”. Baseando-nos nessas duas perguntas, devemos analisar a questão da seguinte maneira: se o objetivo estiver atribuído a passar no vestibular, a primeira pergunta já se autorresponde; ou podemos simplesmente dizer que é para compreender as novas tecnologias existentes no mundo. Porém, sabemos que a física que é lecionada nas escolas não é capaz de explicar tais tecnologias. Agora, quando perguntamos “A quem se pretende ensinar Física?”, podemos dizer que o ensino médio não tem como objetivo formar físicos, mas apenas dar a oportunidade do acesso formal a este conhecimento.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (2000), propõem uma introdução de conhecimentos que salientem esse desenvolvimento científico para os estudantes. Segundo as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (2002), o ensino de física deve estar voltado para a formação de um cidadão contemporâneo, que seja atuante e tenha um espírito solidário, com instrumentos que o ajudem a compreender, intervir e participar da realidade. Dessa forma, mesmo que após o término do Ensino Médio os jovens não tenham mais nenhum tipo de contato com a física, ainda assim terão a formação que os capacita a compreender o mundo que os cerca. De acordo com Oliveira, Vianna & Gerbassi (2007), a atualização curricular tem que estar vinculada à formação inicial e continuada dos professores. Se não houver um preparo dos alunos de licenciatura mais adequado para essas mudanças, bem como oportunidades de atualização para os profissionais que já se encontram na ativa, de nada adianta qualquer tipo de modificação que venha a servir como trampolim para a inserção de temas mais atuais para estudo. No caso da física, essa atualização curricular sugere a inserção de conteúdos a partir do século XX, conhecido como Física Moderna e Contemporânea.

Para Terrazzan (1992), as escolas brasileiras do ensino médio seguem o modelo didático do padrão estrangeiro de ensino de física, ou seja, a exclusão do ensino da física do século XX, permitindo, assim, que os alunos não a vejam como um empreendimento humano. Ele afirma, ainda, que qualquer reformulação que venha a ocorrer no currículo de física deve respeitar a inclusão dos professores desse nível de ensino, nessa tarefa. Para Chicóira, Camargo & Toppel:

A preocupação com um ensino que contribua para a formação de um indivíduo atuante na sociedade já era destacada por Terrazzan (1992), visto que os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea contribuem na formação

participativa e modificadora do estudante. (CHICÓRA, CAMARGO, & TOPPEL, 2015, p. 20176)

Para Oliveira, Vianna & Gerbassi (2007), a escolha dos tópicos de física a serem abordados nesse nível de ensino não devem colocar a física como objeto estruturador de si mesma, mas como ferramenta para compreensão do mundo. Os temas de física devem ser contextualizados e interdisciplinares, de tal forma que possam vir a ser relacionados com o dia a dia dos estudantes. O conhecimento da física moderna é indispensável para compreensão das tecnologias atuais.

Neste trabalho o tema estruturador para o ensino de Física Moderna e Contemporânea será a Nanotecnologia e a Nanociência. O presente estudo aborda temas como estudo de escala de medidas; ordem de grandeza dos objetos; mudança nas propriedades físicas dos materiais quando estão em escala nano; reações químicas que ocorrem em elementos químicos em menores escalas; os modelos atômicos e moleculares; etc. Como os modelos atômicos e moleculares também fazem parte do currículo da química, essa abrangência pode se estender a outras áreas.

Como a história nos mostra a evolução dos materiais, a eletrônica, por exemplo, tem seu início marcado pela descoberta dos transistores até os nanoprocessadores; a odontologia a partir das próteses dentárias, que têm em sua composição partículas de prata, que são antimicrobianas, trazendo, assim, mais conforto aos pacientes; etc. Esses exemplos estão relacionados com a Nanotecnologia e Nanociência, que fazem parte do cotidiano das pessoas, diretamente relacionadas a diversos dispositivos com aplicação nas mais variadas áreas do conhecimento.

## ***1.1 Objetivos***

### *1.1.1 Objetivo geral*

O objetivo do presente estudo é a elaboração de um produto voltado para o tema Nanotecnologia e Nanociência, com foco na produção e aplicabilidade de nanopartículas, apoiando-se em tecnologias de informação e comunicação, bem como na verificação de suas contribuições ao processo de ensino-aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

Para a obtenção do objetivo proposto anteriormente, outros objetivos devem, também, ser alcançados. São estes:

- Criar uma sequência didática sobre Nanotecnologia e Nanociência, com ênfase na produção e aplicação de nanopartículas;
- Contribuir para que os professores sejam capazes de identificar alguns conceitos que estejam voltados à aprendizagem de um determinado tópico de Física Moderna e Contemporânea a partir do material proposto;
- Colocar as possibilidades que contribuem no processo ensino-aprendizagem aos alunos em manual didático do professor, como recurso educacional;
- Disponibilizar um tutorial, com questionários, fotos e detalhamento de todo o processo e montagem dos experimentos.

## ***1.2 Por que ensinar Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio?***

A própria Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1996), deixa clara a proposta de inserir os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, em seus artigos 35 e 36. O artigo 35, inciso IV, nos diz que uma de suas finalidades será “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina”. E o artigo 36, § 1º, no inciso I, complementa declarando que, ao acabar o ensino médio, “o aluno deve demonstrar domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna”. Segundo Terrazzan (1992) estamos cercados de aparelhos, artefatos e de uma infinidade de fenômenos que só podem ser compreendidos a partir da nova física que se inicia no século XX. Segundo ele a Física Moderna e Contemporânea tem a capacidade de despertar no homem contemporâneo, a capacidade de compreender o mundo em que vive, de forma participativa, reflexiva e modificadora. Isso implica em uma necessidade de como serão elaborados e inseridos esses conteúdos no ensino médio. Ainda de acordo com Terrazzan:

Neste nível de escolaridade devemos estar formando um cidadão, pronto para sua participação na sociedade. Sua formação deve ser global, pois sua capacidade de intervenção na realidade em que está imerso tem relação direta com sua capacidade de compreensão desta mesma realidade. (TERRAZZAN, 1992, p. 213)

Para Ostermann (1998 apud PENA, 2006), existem diversos fatores que contribuem para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Podemos destacar: fazer com que os alunos busquem pelo interesse na ciência e que eles possam visualizá-la como um empreendimento humano; colocar os alunos em contato com as ideias que revolucionaram a física no século XX; e despertar nos alunos a busca pela carreira científica, formando assim novos professores e pesquisadores. Valadares e Moreira (1998 apud PENA, 2006) afirmam que é indispensável que o aluno conheça as ideias fundamentais das tecnologias atuais, uma vez que já fazem parte de sua vida, e que, com toda certeza, implicará diretamente em sua vida profissional. Isso reforça a justificativa da inserção dos conceitos de física moderna, de tal forma que sirva como um elo de ligação entre a física que existe em sala de aula com a física do cotidiano, onde encontramos celulares; mostradores de cristal líquido; portas automáticas; sensores de presença; impressoras; laser; etc.

Para Pinto e Zanetic (1999 apud PENA, 2006), o ensino tradicional de física nas escolas se limita, basicamente, até o início do século XX. É de grande importância a transformação desse ensino em uma versão mais atualizada, com a inserção de conceitos da física moderna, pois esta tem a capacidade de explicar o que a física clássica não explica, ou seja, um mundo novo baseado em novas ideias que cada vez mais fazem parte das necessidades do homem contemporâneo, uma quantidade de conhecimentos que excedem a ciência e tecnologia, buscando a inovação do saber humano. Segundo Moreira (2018), os professores são primordiais no ensino de física, porém suas condições de trabalho não lhes favorece transmitir um verdadeiro ensino que leve a uma aprendizagem real da física e de contrapartida possuem uma má formação. Além disso, são formados com o método tradicional de ensino, com aulas expositivas; uso de lista de exercícios; e contato quase nulo com os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea. Em sua metodologia de ensino, nunca saem da física clássica, e sempre começam pela cinemática, onde os alunos passam a não gostar da física.

Segundo Ostermann e Cavalcanti (2001 apud PENA, 2006), além da falta de um currículo atualizado, existe uma desmotivação por parte dos alunos e um ensino voltado para aplicação de fórmulas matemáticas, que priorizam, sempre, o ensino da cinemática. Os professores apresentam uma qualidade acadêmica baixa. Outro fator encontrado é a falta da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física no currículo das escolas. O ensino de Física Moderna e Contemporânea torna-se muito interessante, pois as informações que os alunos leem em jornais; revistas de divulgação científica; ou na internet, mostrando os desafios

a serem encontrados pela física no futuro, podem servir de amenizadores dos problemas citados acima.

Baseado nessas informações, que justificam o ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, vemos que os professores possuem um importante papel nesta jornada, no que diz respeito a atualização curricular. Com a implementação de artigos de revistas e jornais; documentários científicos; e novas propostas de ensino, que estejam voltados para o ensino de Física Moderna e Contemporânea em sala de aula, são indispensáveis à atualização de um currículo de física voltado para as necessidades do homem contemporâneo.

### **1.3 Referencial teórico**

#### *1.3.1 Aprendizagem significativa de Ausubel*

A Comissão de Educação do século XXI nos diz que não podemos esquecer as políticas educacionais, pois a educação e o conhecimento são dadas como riquezas para a construção de um novo homem que forma relações mais humanas entre grupos e nações. (DELORS, 1998 apud SILVA & SCHIRLO, 2014). Segundo Silva & Schirlo “essas considerações permitem pensar que essa nova realidade conduz a uma variedade de sugestões de como os processos de ensino e de aprendizagem devem ser desenvolvidos, para atender às exigências impostas pela sociedade atual” (SILVA & SCHIRLO, 2014, p. 37). Para Alarcão (2001 apud SILVA & SCHIRLO, 2014), os profissionais da educação devem estar preparados para atuarem com a realidade escolar no século XXI, estando cientes dos desafios e das possíveis possibilidades dentro da sua profissão. Com isso, é necessário que incorporem vários conhecimentos ou aprimorem suas habilidades.

De acordo com o contexto, existe uma preocupação no mundo que visa à formação de docentes, pois, a evolução da capacidade profissional, que tem como garantia as condições para trabalhar no magistério, está relacionada aos conhecimentos que fazem parte desta formação. Então, é de extrema importância que o profissional em educação saiba as vertentes educacionais que existem e dão consistência aos processos de ensino e de aprendizagem. Silva & Schirlo (2014), declaram que a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel influencia no ensino de física, visando a nova realidade tecnológica e as barreiras da sociedade moderna e contemporânea. O cognitivismo é uma parte da psicologia que busca como se processa a compreensão, o armazenamento, a transformação e a informação que ocorre na cognição do

indivíduo(MOREIRA e MASINI, 2006 apud SILVA & SCHIRLO, 2014). Moreira e Masini (2006 apud SILVA & SCHIRLO, 2014), afirmam que Ausubel é um representante do cognitivismo, e que tem como tema central a aprendizagem significativa, como uma forma teórica capaz de explicar o processo de aprendizagem escolar do dia a dia. Ausubel (1973 apud SILVA & SCHIRLO, 2014), explica que a aprendizagem significativa está direcionada aos novos conhecimentos que interagem, de forma significativa, com os conhecimentos prévios já existentes no indivíduo, promovendo, assim, mudanças em sua estrutura cognitiva.

A organização do conhecimento cognitivo é indispensável na aprendizagem dos conceitos científicos, que são formados a partir da organização de conceitos e propostas que formam novas relações que se misturam aos conceitos específicos, denominada subsunção (AUSUBEL 1973 apud SILVA & SCHIRLO, 2014). Segundo Ausubel(1973, p.25 apud SILVA & SCHIRLO, 2014, p. 38) “subsunção é uma estrutura específica na qual uma nova informação pode se agregar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual, que armazena experiências prévias do sujeito”. Segundo Silva & Schirlo (2014), na física podemos utilizar o seguinte exemplo: se um aluno já tem em sua estrutura cognitiva o conceito de medidas, isso servirá como subsunção para que ele possa aprender velocidade e aceleração.

Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p.34 apud SILVA & SCHIRLO, 2014, p. 38) explicam que:

(...) “A aprendizagem significativa envolve a aquisição de novos significados e estes, por sua vez, são produtos da aprendizagem significativa”. Ou seja, a manifestação de novos significados no educando ajuíza o complemento de um processo de aprendizagem significativa. Assim, os resultados das experiências de aprendizagem de uma pessoa estão organizados em blocos hierarquizados de conhecimentos. (AUSUBEL, NOVAK E HANESIAN, 1980, p.34 apud SILVA & SCHIRLO, 2014, p. 38)

Segundo esse contexto, Ausubel (1973 apud SILVA & SCHIRLO, 2014) noz diz que a aprendizagem é um processo que ocorre em uma interação do material cognitivo e uma estrutura hierárquica de conceitos que possui 3 fases. Na primeira fase, Ausubel, Novak e Hanesian (1980 apud SILVA & SCHIRLO, 2014) citam a utilização de organizadores prévios para conduzir a estrutura cognitiva utilizados para amarrar a nova aprendizagem, quando os alunos não possuem os subsunções, ou quando os subsunções existentes no indivíduo não são capazes de servir como âncora do novo conhecimento. Com base nisso, podem-se utilizar os organizadores prévios, para ativar os subsunções que estão parados na estrutura cognitiva do aluno. De acordo com Moreira e Masini (2006 apud SILVA & SCHIRLO, 2014), os

organizadores prévios podem ser representados por textos; vídeos; filmes; jornais; fotos; questionários; experimentos; entre outros, permitindo que os novos conhecimentos sejam integrados, de tal forma que possam se relacionar com os conhecimentos da sua estrutura cognitiva. Podemos exemplificar da seguinte forma: um professor, ao introduzir um conteúdo de Física, pode começar a falar, por exemplo, sobre velocidade de tal forma que ele possa usar os subsunçores como âncora para o tema. O professor pode utilizar os conceitos de medidas, que podem ser como subsunçores, que servem como amparo ao novo conceito. (SILVA & SCHIRLO, 2014). Caso os alunos não venham a possuir os subsunçores para ligar os conteúdos, segundo Moreira (1999 apud SILVA & SCHIRLO, 2014), o professor deve ensinar esses conceitos para o aluno, e, depois, voltar ao conteúdo novo. Na segunda fase da teoria da aprendizagem significativa, Ausubel (1973 apud SILVA & SCHIRLO, 2014) diz que o material tem que estar bem adequado ao aluno e que este seja capaz de relacionar o novo material, de forma substantiva e não arbitrária, ao cognitivo do aluno. Desta forma, logo que o aluno recebe uma nova informação, ele tende a fazer uma ligação com a informação já existente em sua cognição. Segundo Moreira e Masini (2006 apud SILVA & SCHIRLO, 2014), o professor deve utilizar o novo material de forma que venha a estar sempre associado às atividades anteriores, comparando-as através de situações atuais, em atividades que dependem da utilização do conhecimento de maneira nova. Já na terceira fase da teoria da aprendizagem significativa, Moreira (1999 apud SILVA & SCHIRLO, 2014) nos diz que a relação entre os subsunçores e os conhecimentos novos dos alunos será remodelada a tal ponto que se tornarão subsunçores ou conhecimentos prévios, ajudando, assim, no processo de aprendizagem de novos conteúdos. Segundo Silva & Schirlo (2014), podemos verificar isso da seguinte maneira: espera-se que um estudante do 1<sup>a</sup> ano do ensino médio, após ter contato com os conteúdos de física, como, por exemplo “Momentum”, tenha subsunçores capazes de ligar essa nova informação.

Segundo Ausubel (1973, p.23 apud SILVA & SCHIRLO, 2014), a aprendizagem mecânica é definida por não ter nenhuma informação prévia do aluno, onde não se tem como relacionar o conhecimento pré-existente com novas informações. Desta forma, à medida que os alunos recebem novas informações e estas não interagem com seus conhecimentos existentes em sua estrutura cognitiva, passam a decorar fórmulas e leis, e, assim que terminam a avaliação, esquecem tudo o que foi estudado. Segundo Silva & Schirlo “em Física, a simples memorização das fórmulas para calcular a velocidade média é um exemplo de aprendizagem mecânica, embora se possa argumentar que algum tipo de associação ocorrerá nesse caso” (SILVA & SCHIRLO, 2014, p.40). Moreira (1999, p.154 apud SILVA & SCHIRLO, 2014) afirma que a

aprendizagem passa a ser mecânica no momento em que ela atribui menores significados e aquisição, fazendo com que a nova informação fique armazenada isoladamente ou a partir de associações arbitrárias na cognição do indivíduo. Nesse contexto, segundo Silva & Schirlo “a aprendizagem mecânica é necessária para os estudantes, no caso da apresentação de conceitos novos, transformando-os, posteriormente, em aprendizagem significativa” (SILVA & SCHIRLO, 2014, p. 40). Para Ausubel (1973 apud SILVA & SCHIRLO, 2014), a medida que a nova informação é inserida na estrutura cognitiva do aluno, e vai ganhando sentido com relação ao seu conhecimento prévio, a aprendizagem se torna mais significativa. Para tanto, Ausubel “aponta que o professor deve identificar um conteúdo relevante na estrutura cognitiva do estudante e fazer uso desse conteúdo para o desenvolvimento da aprendizagem do novo material”(AUSUBEL, 1973 apud SILVA & SCHIRLO, 2014, p.41). Ainda segundo Ausubel, o professor tem a liberdade de destacar relações entre o conteúdo novo e o antigo, gerando assim, uma visão total do material, seguido de um maior nível de abstração.

De acordo com Silva & Schirlo (2014), dessa forma imagina-se que o material possui um alto potencial significativo, ao ponto de ser capaz de relacionar o novo material de forma substantiva à estrutura cognitiva do aluno, ocasionando, assim, a aprendizagem significativa.

Conforme Silva & Schirlo (2014), a análise feita, com base na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, exerce um papel fundamental no processo de formação de um aluno, mesmo com tantas barreiras impostas pela sociedade, pois ela ajuda os professores nessa jornada do processo de ensino e da função social que a escola exerce.

### *1.3.2 Aprendizagem ativa*

Como bem nos assegura Oliveira, Araújo & Veit (2016), um problema encontrado por pesquisadores e professores de diversas áreas, em particular os de ensino de física, com relação a essa geração, é a falta de interesse e comprometimento com o ensino. Essa geração não se adequa mais a esse modelo de ensino tradicional, que se baseia em aulas expositivas; listas de exercícios; trabalhos; seminários; etc. Em seu dia a dia muitos estão conectados à internet e redes sociais, com todo acesso possível através de tablets, computadores e smartphones. Nessa aprendizagem passiva, o professor simplesmente é um transmissor de informação enquanto os alunos simplesmente fazem o papel de receptores. Os alunos têm o primeiro contato com o conteúdo em sala de aula, com a exposição do professor, e fixam esse conteúdo sozinhos em casa.

Para Oliveira, Araújo & Veit (2016), em uma aprendizagem ativa, os alunos têm que se preparar antes de ter a aula, com leituras ou visualização de vídeos indicados pelo professor. Essa metodologia, também conhecida como sala de aula invertida, (*flipped classroom*) é baseada nos trabalhos realizados pelos professores de Química norte-americanos Jonathan Bergman, Karl Fisch e Aaron Sams, que publicaram um livro onde divulgam uma maneira de inverter a sala de aula, onde as exposições orais tradicionais realizadas pelo professor são substituídas por vídeos, atividades experimentais, simulação em computadores ou resolução de problemas que podem ser assistidos pelos alunos fora da sala de aula. Já na sala de aula, os alunos são motivados a buscar o trabalho de forma colaborativa, como, por exemplo, saber ouvir; comunicar ideias; contribuir em discussões; respeitar e ser flexível diante de conflitos entre si, contando com a ajuda do professor para auxiliar na resolução de problemas, entre outras atividades. Para Vygotsky (1980 apud OLIVEIRA, ARAUJO, & VEIT, 2016), o processo de ensino e aprendizagem surge quando ocorrem interações sociais, que podem ser entre professores e alunos, assim como podem ocorrer entre os próprios alunos. Na sala de aula invertida, o professor pode utilizar o tempo em classe para resolução de problemas de física, divididos em pequenos grupos. Desta forma, os alunos podem resolver problemas que os mesmos talvez não resolveriam sozinhos. Ainda de acordo com Oliveira, Araújo & Veit (2016), os alunos começam a explicar de forma mais prática, ao ponto que outras pessoas possam compreender.

Não existe apenas uma forma de inverter a sala de aula, pois o professor tem que ter liberdade para escolher diversos métodos de ensino, e, de forma crítica, modificá-los quando for necessário, para que possam ser aplicados em seu contexto educacional (OLIVEIRA, ARAUJO, & VEIT, 2016). Para Ausubel (1980 apud OLIVEIRA, ARAUJO, & VEIT, 2016), o fato mais importante na aprendizagem do aluno é se basear naquilo que ele já sabe. Nas aulas tradicionais, as inúmeras tentativas realizadas pelo professor para verificar os conhecimentos prévios dos alunos são restritas, devido ao pouco tempo de que eles dispõem em sala. Na sala de aula invertida as dúvidas e as dificuldades encontradas pelos alunos são levadas ao professor, de forma que este as utilize para planejar atividades para a aula presencial. As dúvidas e erros percebidos são como ponto de partida para a discussão em classe. Conforme Oliveira, Araújo & Veit (2016), essa metodologia da sala de aula invertida tem como objetivo apontar alternativas para professores que queiram melhorar suas práticas pedagógicas e se motivem a inverter suas aulas. É importante deixar claro que o docente precisa ter diversidade metodológica e autonomia em qualquer atividade de ensino. Mesmo aulas expositivas podem

se mostrar relevantes dentro de uma unidade de ensino e seria um erro dizer que teriam que ser abolidas por serem tradicionais.

Mediante o isolamento provocado pela pandemia do novo Coronavírus, diversas mudanças ocorreram em vários aspectos de nossas vidas. Quando nos referimos à questão da educação tivemos uma permuta que foi do ensino presencial para o ensino remoto. O ensino remoto busca manter a rotina de sala de aula presencial, só que em um ambiente virtual acessado de diferentes locais. A sala de aula invertida que é uma das metodologias ativas mais conhecidas pelos professores, se adequou muito bem ao ensino remoto, pois, através dela, os alunos conseguem ter uma maior liberdade para desenvolver suas tarefas em locais não escolares e em horários diversificados. Para um aluno estudar em um local que não seja escolar, ele precisará de uma maior motivação e disciplina, e as metodologias ativas conseguem fornecer isso aos alunos despertando neles, um maior interesse nas tarefas por serem lúdicas e práticas. Nelas são usados materiais digitais, textos, vídeoaulas, games, pesquisas, etc. (TOLEDO, 2020).

## **CAPÍTULO 2**

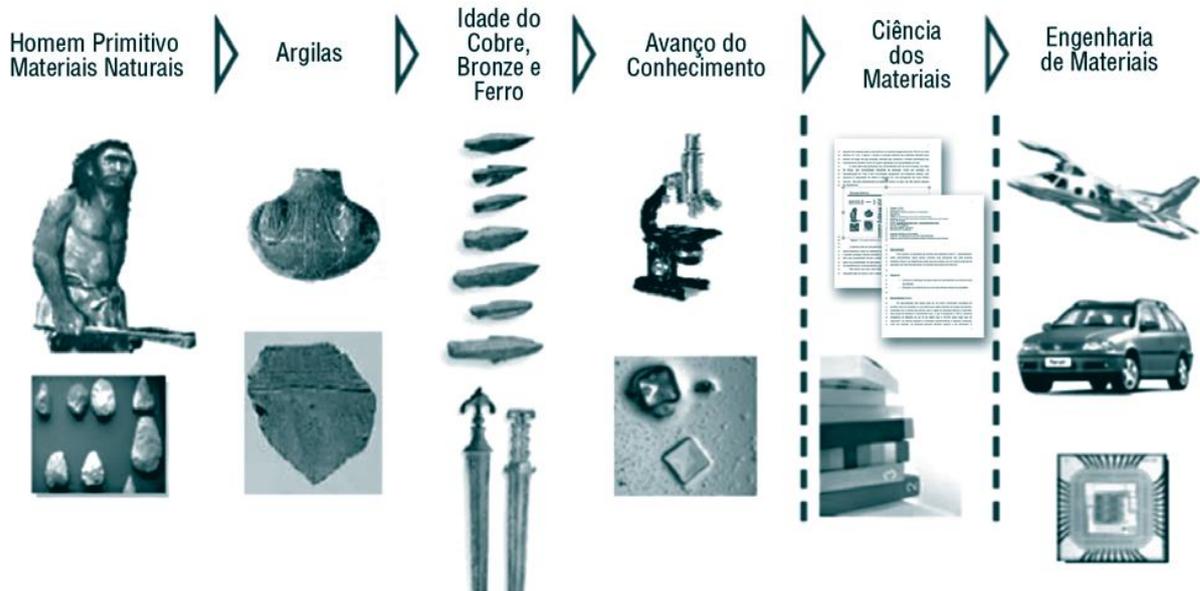
### **FUNDAMENTOS DOS NOVOS MATERIAIS**

Salla & Cadioli (2006) nos relatam que o homem utiliza materiais para a sua sobrevivência desde épocas remotas. O homem primitivo já fazia utilização de materiais para sua sobrevivência como, por exemplo, a utilização de pedras para quebrar e partir alimentos; o uso de pedras e madeiras na construção de armas cortantes e lanças para caçar animais; a argila para confeccionar as primeiras cerâmicas utilizadas para armazenar alimentos e água. Os materiais sempre estiveram presentes na vida do homem ao longo da sua evolução. O homem foi aprendendo a lidar com esses materiais e os desenvolvendo ao longo da sua vida de acordo com a sua necessidade. O desenvolvimento do homem e os materiais estão fortemente ligados, pois vários períodos de evolução do homem estão relacionados com alguns nomes, como “idade da pedra”; “idade do bronze”; “idade do ferro”, dentre outros. Ainda segundo Salla & Cadioli (2006), com o passar do tempo o homem foi descobrindo novos materiais, como o ferro; o ouro; o bronze; e a prata, responsáveis pelo desenvolvimento das diversas aplicações que temos até os dias de hoje na vida do homem. Há vestígios de que já por volta de 5.000 a.C. o homem já utilizava alguns objetos a partir de metal e ligas, como o arado; embarcações a vela; e carroças, que são o início das grandes descobertas. Durante o início do cristianismo, o homem já conhecia o ferro; o ouro; o bronze; o chumbo; o estanho; o mercúrio; e a prata, sendo que os mesmos não eram bem utilizados e seus estudos não eram devidamente aprofundados, ou seja, eram muito restritos devido ao fato de que somente os alquimistas faziam essa manobra e os mesmos eram totalmente empíricos. Para Salla & Cadioli (2006), com o avanço da ciência, o homem foi buscando se aprofundar no conhecimento dos materiais, e descobrindo a sua natureza utilizando o microscópio. Com isso, o homem foi capaz de se aprofundar no estudo da estrutura dos materiais, verificando novas propriedades dos materiais e suas limitações e como manipulá-los de tal forma que possibilite novas aplicabilidades dos mesmos. Essa nova forma de enxergar os materiais foi um grande salto dado pelo homem, pois, a partir daí, estudos mais profundos tornaram-se possíveis, permitindo um melhor entendimento dos materiais; suas estruturas; e seus arranjos de átomos, e; como consequência disto, seus processos de fabricação e de transformação.

De acordo com Salla & Cadioli (2006), os materiais estão diretamente ligados à nossa vida, ou seja, fazem parte do nosso dia a dia, através de roupas; sapatos; carros; aparelhos eletrônicos; instrumentos cirúrgicos; dentre outros. O desenvolvimento desses materiais vem

crecendo muito com o avanço da ciência dos materiais, onde novas tecnologias podem influenciar diretamente em nosso cotidiano e possibilitando o surgimento de futuras novas aplicações, como pode ser visto na figura 1.

**Figura 1. Processo da evolução dos materiais**



**Fonte: (SALLA & CADIOLI, 2006)**

De acordo com Salla & Cadioli (2006), o termo “novos materiais” se deu por volta dos anos 70, com novos materiais recém descobertos, englobando, também, aqueles já conhecidos e que evoluíram tecnologicamente na fabricação e no uso de suas funções. Para Caram:

Os materiais são analisados e desenvolvidos dentro do ramo do conhecimento denominado de “Ciência e Engenharia de Materiais”, o qual tem, como meta principal a geração e o emprego de conceitos envolvendo composição química, arranjo atômico, e processamento dos materiais com suas características e empregos (CARAM, 2006, p. 1)

## ***2.1 Classificação dos materiais***

Segundo Caram (2006), os materiais podem ser classificados da seguinte forma: materiais metálicos; materiais poliméricos (plásticos); materiais cerâmicos; e materiais compósitos ou conjugados.

### *2.1.1 Materiais metálicos*

Define-se como materiais metálicos substâncias inorgânicas que possuem em sua composição um ou mais elementos metálicos, podendo, até mesmo, conter elementos não-metálicos. Podemos citar como exemplos de materiais metálicos o aço; o níquel; o cobre; o titânio; e o alumínio. Quanto aos materiais não-metálicos, podemos citar o carbono; o oxigênio; e o nitrogênio, que podem estar contidos em materiais metálicos. Os metais, em geral, possuem uma estrutura cristalina, onde seus átomos são arranjados de forma cristalina e ordenada. Os metais, de forma geral, possuem ótimas qualidades no que diz respeito à condição de condutores térmicos e elétricos. Quase todos os metais possuem uma alta resistência, são dúcteis e muitos, mesmo a altas temperaturas, mantêm essa resistência (CARAM, 2006).

### *2.1.2 Materiais poliméricos (Plástico)*

A maioria dos materiais poliméricos possuem, em sua estrutura, compostos de cadeias de carbono de longa extensão, sendo, a maioria, destes não cristalinos. Porém, alguns elementos possuem uma mistura de regiões cristalinas e não-cristalinas, além de uma resistência mecânica e ductibilidade muito variável. Em razão da sua natureza, a maioria dos plásticos possuem baixa condução elétrica e térmica. Isso faz com que possam ser utilizados como isolantes, tornando-os de suma importância na produção de objetos eletrônicos. Os materiais poliméricos possuem baixo peso específico e uma temperatura de decomposição extremamente baixa (CARAM, 2006).

### *2.1.3 Materiais cerâmicos*

A palavra cerâmica vem do grego “Keramos”, que era dada ao barro utilizado na confecção de jarros (REZENDE, 2004). De acordo com Caram (2006), são substâncias constituídas de elementos metálicos e não-metálicos unidos por uma ligação química. São materiais cristalinos, não-cristalinos ou, até mesmo, uma mistura de ambos. Em sua maioria, os materiais cerâmicos possuem uma elevada resistência mecânica e uma alta dureza, mesmo com temperaturas elevadas. Ainda assim, os materiais cerâmicos apresentam bastante fragilidade. Vários materiais cerâmicos vêm sendo desenvolvidos para diversas aplicações, como peças para motores de combustão interna. Devido ao fato de serem bons isolantes térmicos, assim como

possuírem alta resistência ao calor, esses materiais cerâmicos podem ser empregados na construção de fornos utilizados na indústria metalúrgica. Podemos citar, como exemplo, a utilização de materiais cerâmicos na construção de um ônibus espacial, processo no qual sua estrutura é feita de alumínio e totalmente revestida com pastilhas de cerâmica. Como são isolantes térmicos, protegem o ônibus durante a saída e entrada na atmosfera.

#### *2.1.4 Materiais compósitos*

Para Caram (2006), os materiais compósitos são formados a partir da combinação de dois ou mais materiais com propriedades físico-químicas distintas e não miscíveis, com o objetivo de obter um material mais resistente. A maioria desses materiais são oriundos de um elemento que reforça a estrutura com um tipo de resina colante, com a finalidade de se obter características específicas e determinadas propriedades desejadas. Cupertino (2010) afirma que, em sua maioria, os materiais compósitos são formados a partir de dois elementos, um material base, chamado matriz, e um reforço ou carga, disperso no primeiro. Esses materiais são separados por uma interface entre eles. Segundo Cupertino:

Em geral, o propósito da matriz é proteger o reforço do ambiente externo, evitando que o material disperso entre em contato com meios ácidos ou corrosivos, manter o reforço em seu lugar e transferir a tensão para o reforço. A rigidez e resistência vêm do reforço, o qual pode ser formado por fibras ou partículas. (CUPERTINO, 2010, p. 20)

O material compósito possui uma rigidez e resistência derivadas das fibras ou partículas, possuindo diversas formas, as mais comuns são as fibrosas (fibras envolvidas por uma matriz) e as particuladas (que possuem partículas envolvidas por uma matriz). Quanto ao uso industrial, existem diversas matrizes e elementos de reforços. No entanto, há dois tipos de materiais usados no setor industrial que podem ser destacados: a fibra de vidro, em matriz de epóxi; e a fibra de carbono, também em matriz de epóxi. Um bom exemplo de material compósito a ser citado é o concreto armado, que nada mais é do que uma representação de uma matriz de concreto composta de areia; pedra; e cimento, a qual envolve um elemento de reforço representado pelas barras de aço (CARAM, 2006).

Aa tabela 1, são apresentadas algumas comparações entre os materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos.

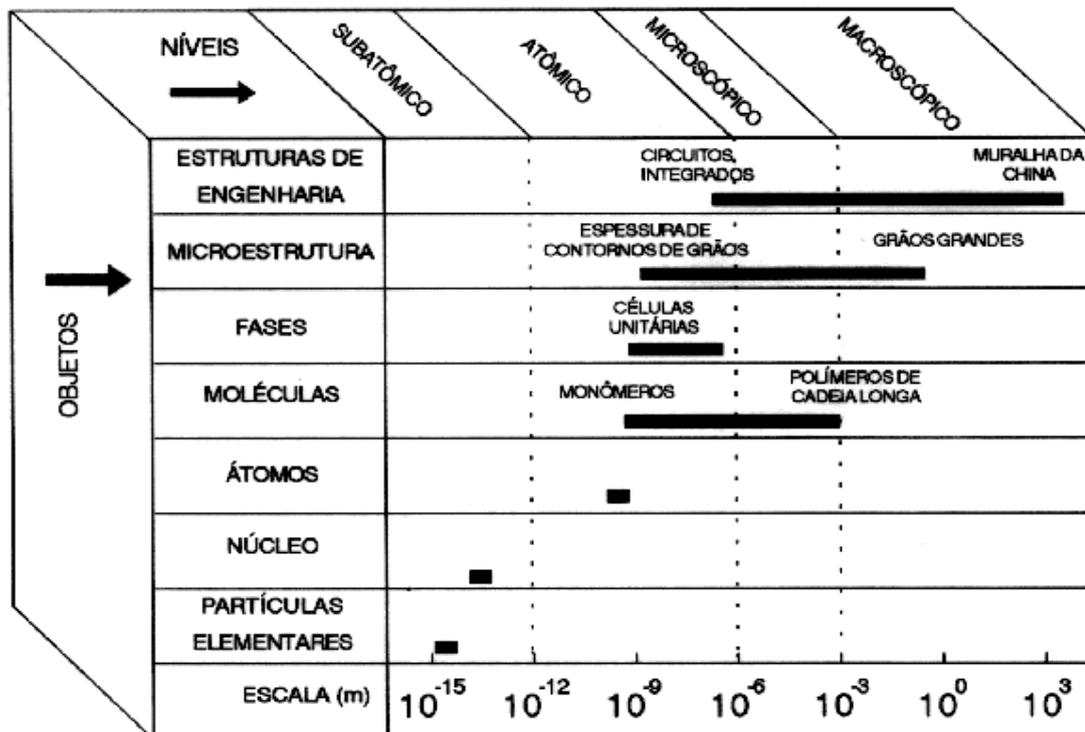
**Tabela 1. Constituição e características dos materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos**

<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>CONSTITUINTES TÍPICOS</b>
METÁLICOS	Dúctil, Resistência Mecânica Elevada, Condutor elétrico e Térmico, Dureza elevada, Opaco	Átomos metálicos e não-metálicos
CERÂMICOS	Frágil, Isolante Térmico e Elétrico, Alta Estabilidade Térmica, Dureza Elevada, Transparentes em Alguns Casos	Óxidos, Silicatos, Nitretos, Aluminatos, etc.
POLIMÉRICOS(PLÁSTICOS)	Dúctil, Baixa resistência Mecânica, Baixa Dureza, Flexível, Baixa Estabilidade Térmica, Transparentes em Alguns Casos	Cadeia Molecular Orgânica de Comprimentos Elevados.

**Fonte:(CARAM, 2006)**

Os materiais possuem seu próprio comportamento e a sua natureza de acordo com os tipos de arranjos e átomos aos quais estão associados. Sabe-se que um determinado material pode ter, em sua estrutura, um ou mais elementos químicos. As características de um material dependem da forma com que os elementos que o constituem se arranjam no espaço (CARAM, 2006). Segundo a visão de Caram (2006, p. 8), “A estrutura dos materiais pode ser estudada de acordo com os quatro níveis: subatômico, atômico, microscópico e macroscópico.” A figura 2 apresenta comparações entre as estruturas que possuem dimensões que vão desde a escala subatômica até a macroscópica.

Figura 2. Comparação entre diversas estruturas



Fonte: (CARAM, 2006)

Ainda de acordo com Caram (2006), pode-se dizer que o nível subatômico tem sua análise baseada em seu átomo individual, no comportamento do seu núcleo e nos elétrons de suas camadas periféricas. Os átomos possuem um comportamento bem definido, com relação às suas partículas subatômicas e suas propriedades (magnéticas, térmicas e elétricas). No nível atômico, a análise está centrada na relação envolvendo átomo com átomo, ou seja, na ligação e na interação entre os átomos e na origem de moléculas. As ligações interatômicas estão definidas no comportamento do átomo ao nível subatômico. Um material pode se apresentar como: sólido; líquido; ou gasoso, para uma dada condição e, também, dependendo do tipo da ligação e sua intensidade. Já o nível microscópico está condicionado ao arranjo espacial dos átomos ou das moléculas. Dependendo do arranjo estrutural atômico podem-se obter três tipos de estruturas: cristalina; amorfa; e molecular. Dependendo do tipo de arranjo estrutural as características e as propriedades de um material podem ser alteradas. Porém ao nível macroscópico, estão atribuídas aos materiais características e propriedades voltadas para o serviço, que tem em sua estrutura o comportamento dos três níveis citados anteriormente, e como ocorreu a formação desse material.

## 2.2 A influência da física do estado sólido e da matéria condensada na eletrônica

Segundo Rezende (2004), a eletrônica foi, no final do século XX, o ramo da tecnologia mais importante, ela surgiu em 1906, com a invenção da válvula tríodo figura 3, por Lee de Forest, nos Estados Unidos, dispositivo este capaz de amplificar os sinais elétricos. Essa válvula consiste em um tubo a vácuo contendo três eletrodos: o catodo, que quando aquecido é capaz de emitir elétrons; o anodo, que recebe os elétrons; e uma grade que fica entre o catodo e o anodo, que controla o fluxo de elétrons e possibilita a amplificação dos sinais. Existem outros tipos de válvula, como o diodo, que possui dois eletrodos (catodo e anodo); os pentodos, que possuem cinco eletrodos; e outros mais. Todas as válvulas baseiam-se no funcionamento do controle do movimento dos elétrons entre os eletrodos através da ação de um campo elétrico que atua sobre sua carga elétrica.

**Figura 3. Válvulas a vácuo**

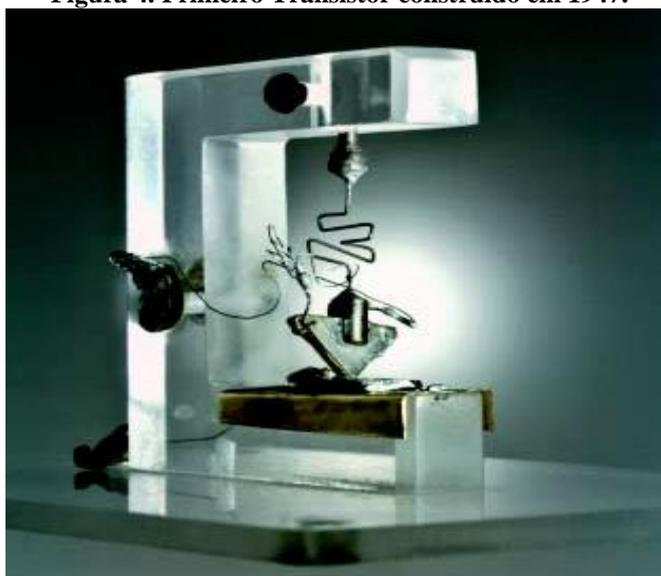


**Fonte: (REZENDE, 2005)**

De acordo com Rezende (2004), o rádio foi o principal produto da Eletrônica durante a primeira metade do século XX, gerando a possibilidade da comunicação e a difusão de informações à distância através da voz e da música. Logo após, foi criada a transmissão não só de som, mas também de imagens em movimento, dando origem à televisão. Mais tarde surgiram os computadores e diversos outros aparelhos com variadas finalidades. Mas a tecnologia eletrônica das válvulas possuía limitações. Elas tinham uma vida curta de uso, pois eram muito grandes e frágeis, aqueciam muito durante sua utilização e, também, possuíam várias desvantagens técnicas. Devido a esse fato, já se procurava um dispositivo capaz de substituir as válvulas eletrônicas antes mesmo da segunda guerra mundial. Ainda segundo Rezende, em

1947, três físicos, John Bardeen, Walter Brattain e William Shockley, nos laboratórios da empresa de telefone Bell, estavam analisando as propriedades de condução que um semicondutor possui. Nesse mesmo ano fizeram a descoberta do transistor, figura 4 um dispositivo de três elementos capaz de controlar a corrente elétrica no interior de um material semicondutor, e que substituiria a válvula triodo. Na década de 1950 o transistor foi modificado, tornando-se mais confiável, com várias aplicações em diversos aparelhos eletrônicos e com custos de fabricação se tornando cada vez mais baixos.

**Figura 4. Primeiro Transistor construído em 1947.**



**Fonte: (REZENDE, 2005)**

Rezende (2005) nos diz que durante a década de 1960 presenciamos a miniaturização da eletrônica através dos circuitos integrados, onde inúmeros transistores e diodos são interligados com resistores e capacitores, produzidos na mesma pastilha de semicondutor. A produção de circuitos integrados com dimensões da ordem de  $10^{-6}$  metros, ou seja, micrômetros, dá origem ao surgimento da tecnologia da microeletrônica. Com o desenvolvimento da miniaturização dos componentes eletrônicos, surgiram na década de 1970 os microprocessadores, tornando possível a origem dos microcomputadores. Com a produção de circuitos integrados, microprocessadores cada vez mais velozes, e com um maior número de elementos, a evolução no ramo da eletrônica vem aumentando. Devido a esta evolução, foram provocadas diversas modificações nos costumes da sociedade, originadas por modernos sistemas de comunicação, como a utilização acentuada de computadores; a automatização dos

meios de produção; e os mais diversos equipamentos utilizados em nosso cotidiano. Segundo Rezende:

Ainda em 1965, o norte-americano Gordon Moore, que mais tarde seria um dos criadores da empresa Intel, a gigante indústria de microprocessadores, observou que o número de transistores em um chip de circuito integrado dobrava a cada 18 meses. Ele previu que essa taxa seria mantida nas décadas seguintes, o que efetivamente aconteceu, passando a ser conhecida como a lei de Moore. (REZENDE, 2005, p. 29)

Assim como os diodos, transistores, circuitos integrados e microprocessadores, cuja funcionalidade é baseada nas propriedades de transporte eletrônico dos semicondutores, existem outros dispositivos que dão ao ramo da eletrônica múltiplas aplicações. Esses dispositivos são baseados em diversas propriedades de materiais sólidos; ópticos; magnéticos; térmicos; etc. Esses dispositivos só foram possíveis graças aos conhecimentos da Física do Estado Sólido, responsável por estudar as propriedades e os fenômenos nos materiais sólidos, tendo um grande avanço mediante a descoberta do transistor (REZENDE, 2005).

Conforme Rezende (2004), até a década de 1950, os trabalhos realizados nessa área eram baseados em materiais sólidos cristalinos, que são substâncias cujos átomos têm um arranjo ordenado periódico. Tais sólidos possuem fenômenos que não aparecem em materiais amorfos. Devido à propriedade de simetria que tais sólidos possuem em sua estrutura cristalina, os fenômenos tornam-se mais fáceis de serem analisados pelas leis da Física. Graças ao progresso das técnicas experimentais e teóricas, esta área se aprofundou no estudo de materiais mais complexos, como ligas amorfas, vidros e até mesmo os líquidos, passando a ser estudada como Física da Matéria Condensada. Ainda de acordo com Rezende, muitos físicos no mundo trabalham em cima dessa área, originando assim o surgimento de novas linhas de pesquisas, alavancadas pelas descobertas de novas propriedades, novos fenômenos e novos materiais artificiais, originando, assim, o desenvolvimento de novos dispositivos que permitem a descoberta de novas aplicações nas mais variadas áreas tecnológicas, impulsionando as pesquisas básicas e aplicadas. Foi através do estudo da Física da Matéria Condensada que foi possível o desenvolvimento do transistor, dos circuitos integrados e de diversos dispositivos que revolucionaram a eletrônica e os computadores. Podemos citar os Lasers, que possuem diversas aplicações na indústria e na medicina, e novos materiais magnéticos, responsáveis pela melhoria no processo de gravação, com grande influência nos meios de comunicação e nos computadores.

Como descrito por Rezende (2004), os materiais sólidos que são analisados na Física da Matéria Condensada não são encontrados na natureza. Sabe-se que esses materiais são

produzidos em laboratórios, utilizando produtos químicos, exibindo alto grau de pureza, sendo fabricados com técnicas cada vez mais modernas, originando estruturas artificiais inimagináveis duas décadas atrás. Podemos citar, por exemplo, a técnica de epitaxia de feixe molecular (MBE), que se trata de sobrepor camadas atômicas individuais, formando uma camada múltipla. É de grande importância dominar o conhecimento de tais técnicas, pois elas são essenciais no estudo da Física da Matéria Condensada e na fabricação de materiais eletrônicos. Para Rezende:

Nas últimas décadas, as técnicas experimentais de fabricação possibilitaram a preparação de filmes ultrafinos, nos quais os átomos são depositados sobre um substrato quase individualmente, possibilitando a construção de estruturas na escala de nanômetro (um bilionésimo de metro ou  $10^{-9}$  m). Isso tornou a física da matéria condensada um dos pilares da nanociência e da nanotecnologia, abrindo enormes possibilidades de aplicações em outros campos da ciência e da tecnologia. (REZENDE, 2005, p. 31)

### ***2.3 Ligações atômicas***

Aqui iremos falar sobre os tipos de ligações atômicas, interações ocorridas entre átomos, com o objetivo de formar uma molécula ou dar origem a uma determinada substância de um composto. Segundo Caram (2006), o comportamento de um material se dá a partir da análise feita dos níveis subatômico, atômico e microscópico. Desta forma, torna-se necessário analisá-lo no que se refere aos átomos que o constituem, e o comportamento eletrônico dos mesmos. Podemos dizer, então, que a estrutura de um material é dependente dos tipos de átomos e ligações que eles realizam.

### ***2.4 Interações atômicas***

Para Caram (2006), o átomo é composto basicamente de três partículas subatômicas: prótons, nêutrons e elétrons. Em seu centro localiza-se o núcleo, que possui um diâmetro de aproximadamente  $10^{-14}$ m, envolvido por uma nuvem de elétrons, resultando em um diâmetro atômico de  $10^{-10}$ m. Em seu núcleo estão localizados os prótons e os nêutrons, onde está localizado quase toda sua massa atômica. A massa de um próton é de  $1,673 \times 10^{-27}$ kg e sua carga elétrica  $+1,6 \times 10^{-19}$ C. O neutron possui uma massa de  $1,675 \times 10^{-27}$ kg e carga elétrica nula. O elétron, por sua vez, possui massa de  $9,109 \times 10^{-31}$ kg e carga elétrica de  $-1,602 \times 10^{-19}$  C. Assim, a maior parte do volume atômico concentra-se na nuvem eletrônica, sendo, esta, a menor parte da massa do átomo. Os elétrons mais externos são os que determinam a maioria

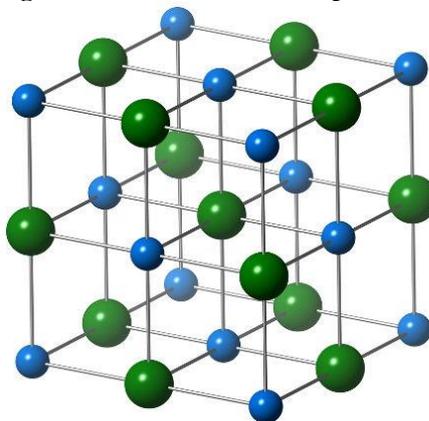
das características elétricas; mecânicas; químicas; e térmicas dos átomos. Como a estrutura interna dos materiais é obtida da agregação dos átomos através da força de ligação interatômica, também por meio dessas agregações, em função dessas ligações, podemos obter os estados sólido, líquido e gasoso.

Os átomos possuem a condição de se tornarem estáveis de três maneiras: com o ganho de elétrons; perda de elétrons; e compartilhamento de elétrons. Quando um átomo possui a facilidade em ganhar elétrons ele é caracterizado como eletronegativo; quando ele tem facilidade em perder elétrons ele é caracterizado como eletropositivo. Alguns átomos não possuem essas condições de facilidade em ganhar ou perder elétrons, tornando possível a existência de quatro tipos de ligações atômicas: iônica; metálica; molecular e covalente (CARAM, 2006).

#### 2.4.1 Ligações iônicas

A ligação iônica é originada da interação entre íons positivos (cátions) e íons negativos (ânions). Podemos dar como exemplo de uma ligação iônica a que ocorre entre a molécula de sódio, “Na”, representada pela (esfera azul), e outra de cloro, “Cl”, representada pela (esfera verde), na formação do NaCl (cloreto de sódio), o tradicional sal de cozinha. A estrutura do NaCl pode ser observada na figura 5 abaixo.

**Figura 5. Estrutura formada pelo NaCl**

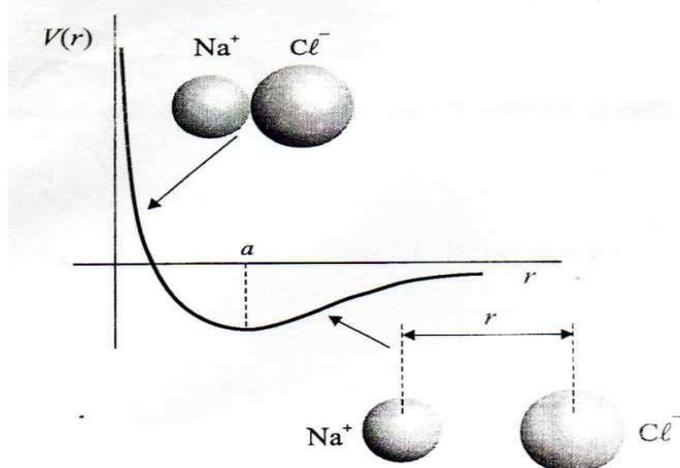


**Fonte: (DIAS, 2020)**

Sabe-se que, por razões conhecidas na química e que são explicadas pela mecânica quântica, o átomo de sódio, que possui as suas duas primeiras camadas eletrônicas completas e a sua terceira camada com apenas um elétron, tende a perder o seu único elétron na terceira

camada para que as duas camadas interiores formem um núcleo fechado. De contra partida, o cloro possui a sua última camada, mais externa, com sete elétrons. Logo, tende a capturar um elétron e, dessa forma, torna-se eletronicamente estável. Desse modo, quando o átomo de cloro reage com o átomo de sódio, ele passa um elétron para o cloro, dando origem a dois íons com cargas elétricas opostas, o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Cl}^-$ , que se atraem devido à interação eletrostática. Os átomos de cloro e sódio quando estão próximos formam um sistema com menos energia. Mas quando eles ficam muito próximos, ocorre a repulsão entre os elétrons mais externos, fazendo com que a energia aumente impedindo que eles se aproximem. Na figura 6 verificamos a variação da energia em função da distância  $-1/r$ . Logo verificamos que existe uma distância “a” mínima em que o sistema se torna estável. Os sólidos iônicos possuem uma ligação muito forte e um alto ponto de fusão. É necessária uma energia térmica grande o suficiente para que os átomos se libertem uns dos outros, para ocasionar a forma líquida. Possuem uma baixa condutividade térmica e elétrica, o que ocasiona o fato de serem bons isolantes. Por causa da ausência de elétrons livres, ocorre uma grande transparência óptica no espectro eletromagnético. Podemos citar alguns tipos de sólidos iônicos como é o caso dos halogenetos alcalinos ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaBr}$ ,  $\text{LiF}$ , etc), assim como vários óxidos, sulfetos, teluretos, dentre outros. (REZENDE, 2004).

**Figura 6. A energia de interação efetiva entre o  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em função da distância**



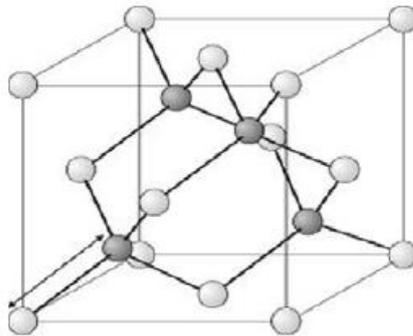
Fonte: (REZENDE S. M., 2004)

#### 2.4.2 Ligações covalentes

Nesse processo de ligação ocorre o compartilhamento de elétrons entre átomos. Podemos citar, como exemplo, a formação da molécula do cloro,  $\text{Cl}_2$ , onde cada átomo do cloro compartilha um de seus elétrons com o outro. Sendo assim, um par eletrônico pode ser

compartilhado entre dois átomos, e cada átomo tem em sua camada mais externa seis elétrons já de sua natureza, e um par compartilhado, tornando cada átomo eletronicamente estável. Essa atração eletrostática ocorre devido à presença dos elétrons que se encontram entre os átomos, atraindo, então, simultaneamente, átomos vizinhos, que foram deixados positivos com sua ausência. Sabe-se que sólidos covalentes possuem, de forma geral, um ponto de fusão menor que os sólidos iônicos, porém possuem uma maior dureza. Podemos destacar aqui os seguintes materiais covalentes como os semicondutores, silício, germânio, GaAs, InSb, etc (CARAM, 2006). Podemos visualizar ligações covalentes no silício, como mostra na figura 7 abaixo.

**Figura 7. Ligação covalente em um cristal de silício**



**Fonte: (FRUETT, 2004)**

### *2.4.3 Ligações moleculares*

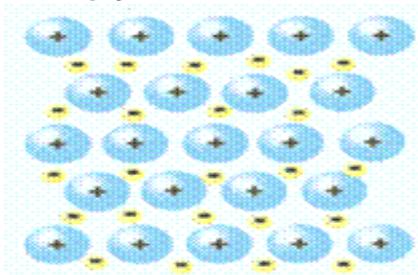
A ligação molecular é um tipo de ligação que é bem mais fraca que as ligações iônica e covalente. Ela ocorre devido à atração dos dipolos elétricos que se formam nos átomos, por causa de um pequeno deslocamento, que surge em suas camadas eletrônicas em relação aos núcleos. Sólidos que possuem esse tipo de ligação são denominados sólidos moleculares, eles possuem um ponto de fusão muito baixo, menor que 10K. (REZENDE, 2004)

Segundo Muniz (2012), alguns materiais orgânicos, e gases como oxigênio, hidrogênio e nitrogênio, tornam-se sólidos moleculares quando estão no estado sólido, o que só ocorre em temperaturas bem baixas. Ainda de acordo com Muniz (2012), a ligação fraca que esses sólidos possuem os torna facilmente quebráveis, e devido à falta de elétrons livres, isso os proporciona serem maus condutores elétricos e térmicos.

### *2.4.4 Ligações metálicas*

De acordo com Rezende (2004), as ligações metálicas têm o seu funcionamento baseado na ação entre os elétrons livres e os íons positivos. Os elétrons livres são originados a partir da última camada eletrônica, sendo, fracamente, ligados aos átomos, ficando, dessa forma, livres no interior da estrutura metálica. Rezende afirma que “Desta forma a ligação é razoavelmente fraca, o que resulta em ponto de fusão relativamente baixo, maleabilidade, ductibilidade e grande condutividade térmica e elétrica, que são propriedades características dos metais” (REZENDE, 2004, p. 8). Na figura 8 podemos visualizar as ligações metálicas em metais.

**Figura 8. Ligações metálicas (mar de elétrons)**



Fonte: (DELGADO, 2015)

## **2.5 Materiais cristalinos**

Uma grande parte dos materiais utilizados na confecção de dispositivos eletrônicos possui a forma de sólidos cristalinos. A forma ordenada que esses cristais se arranjam denomina-se rede cristalina. Já Segundo Caram (2006), os materiais amorfos não possuem um arranjo atômico ordenado de longo alcance e podemos encontrar essas estruturas em gases, líquidos e em alguns sólidos como podemos destacar o vidro.

Segundo Rezende (2004), um cristal perfeito é definido como sendo aquele que possui um arranjo ordenado de átomos ou íons, oriundos da translação de repetições periódicas da célula unitária<sup>1</sup>. A ordenação de átomos ou íons é o arranjo que diminui a energia eletrostática envolvida no conjunto.

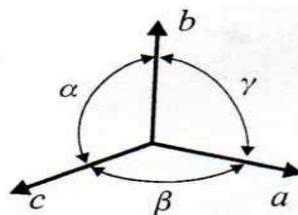
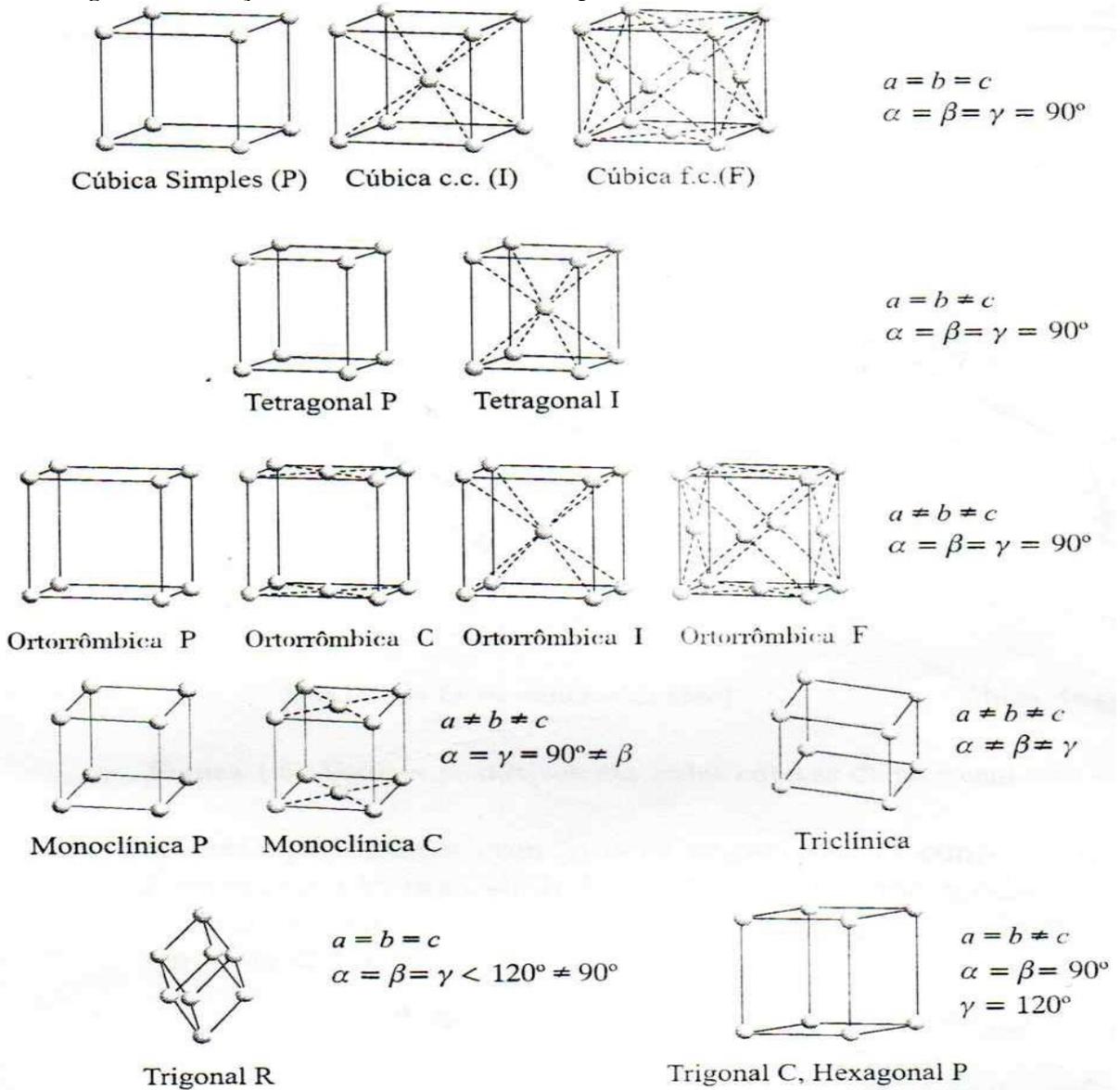
Mesmo com o número de estruturas cristalinas muito grande, existem apenas 14 redes cristalinas em 3 dimensões, mostradas na figura 9. De acordo com o tipo de célula unitária, essas redes são agrupadas em sete sistemas, são elas: triclinico, monoclinico, ortorrômbico,

---

<sup>1</sup> “A célula unitária é a menor porção da estrutura (arranjo de átomos) que por repetição periódica ao longo dos eixos de coordenada permite construir completamente a distribuição dos átomos no cristal”. (MUNIZ, 2012, p. 4)

tetragonal, cúbico, trigonal e hexagonal. Elas também são conhecidas como rede de Bravais. A figura 9 mostra a diferença entre esses sistemas cristalinos que é dada a partir da relação existente entre os tamanhos das arestas  $a$ ,  $b$  e  $c$ , e entre os ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . (MUNIZ, 2012)

**Figura 9. Ilustração das células unitárias das 14 possíveis redes cristalinas em três dimensões.**



Fonte: (REZENDE, 2004)

Para melhor compreendermos o seu funcionamento, vamos usar como exemplo o cristal iônico formado pelo Cloreto de Sódio, onde a célula unitária tem a forma de um cubo simples, que possui em seus vértices uma distribuição dos átomos de cloro e sódio de forma alternada e periódica. Outro exemplo importante é o caso da alotropia ou seja fenômeno que transforma um elemento químico em outras substâncias, como é o caso do carbono que forma duas substâncias diferentes como o grafite e o diamante. (MUNIZ, 2012)

## ***2.6 O movimento Browniano***

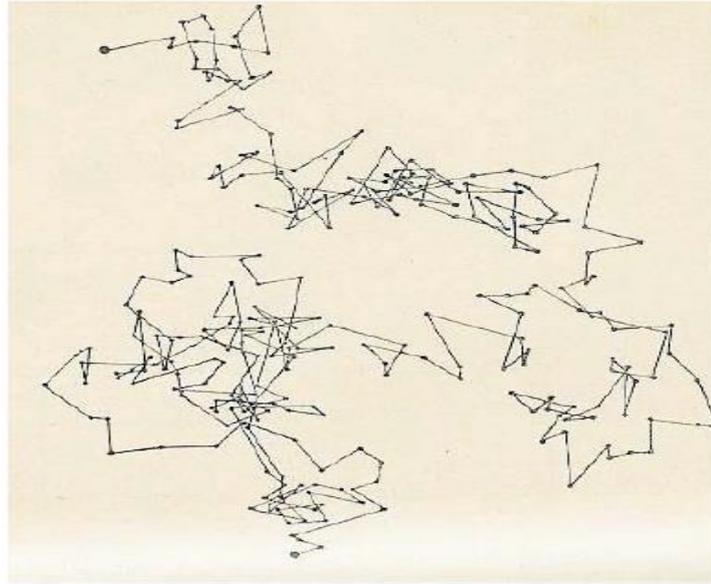
Desde a antiguidade o homem já se questionava acerca do constituinte fundamental da matéria. Os gregos Demócritos e Leucipo, por volta de 500 a.C., foram os primeiros a levantarem essa questão sobre a teoria atômica. Esse assunto levou séculos a ser explicado utilizando diversas teorias que fundamentassem a existência atômica.

Diversos experimentos foram realizados na tentativa de explicar a polêmica sobre os átomos. Porém, esse problema só veio a ser resolvido com os trabalhos desenvolvidos por Einstein, em 1905, e por Smoluchowski, em 1906, sobre o movimento Browniano (PEREZ et al., 2018). Segundo Severo & Gomes:

O movimento browniano é um movimento aleatório de uma partícula qualquer imersa num fluido. A partícula browniana deve ser macroscopicamente pequena, mas microscopicamente grande, em comparação com as moléculas do fluido, das quais ela sofre colisões. (SEVERO & GOMES, 2011, p. 22)

O trabalho supracitado descrevia o movimento das partículas de pólen em suspensão na água. Esse fenômeno foi analisado pela primeira vez pelo Botânico Robert Brow (daí a origem do nome), no ano de 1828, quando ele verificou o comportamento das partículas de pólen em cima de uma gotícula de água. O fato foi descrito, inicialmente, como sendo atribuído a uma forma de vida contida no pólen. Mais tarde, com novos experimentos, foi verificado que essa hipótese estava errada, com teorias que relacionavam o deslocamento das partículas devido a correntes de ar acima do grão de pólen (PEREZ, et al. 2018). Ainda de acordo com Perez et al. (2018), tal ideia se baseava no movimento das partículas em ziguezague em cima de um fluido, onde este movimento ocorria devido aos choques das partículas com as moléculas do fluido. A figura 10 representa a execução do movimento de uma partícula imersa em um meio, ou seja, o movimento Browniano.

**Figura 10. Partícula executando o movimento Browniano**



**Fonte: (SILVA & LIMA, 2007)**

De acordo com Severo & Gomes (2011), em seu trabalho sobre movimento Browniano, Einstein obteve a seguinte expressão:

$$N_A = \frac{R \cdot T \cdot t}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot a \cdot \langle x^2 \rangle} \quad (1)$$

Onde:

R = Constante universal dos gases

T = Temperatura Termodinâmica

a = Raio das partículas

$\eta$  = Viscosidade do solvente puro

$N_A$  = Número de Avogadro

$\langle x^2 \rangle$  = Deslocamento quadrático médio.

Ainda de acordo com Severo & Gomes (2011), nessa equação todas essas grandezas podiam ser mensuráveis. A questão toda era a busca pelo o número de Avogadro, pois o mesmo fornece o número de moléculas ou átomos existentes em 1 mol de uma substância. Tendo a massa de 1 mol de uma substância já conhecida, dá para se obter a massa de uma molécula dividindo a massa de 1 mol por  $N_A$ . Severo & Gomes afirmam que “Einstein obteve  $N_A \approx 2 \times 10^{23}$  partículas por mol. Com esse trabalho, Einstein convenceu Jean Perrin a realizar experimentos

cuidadosos para medir  $\langle x^2 \rangle$  e o raio das partículas brownianas” (SEVERO & GOMES, 2011, p. 25). Mas foi no ano de 1908 que o Físico Jean Perrin, utilizando a ultramicroscopia, conseguiu realizar experimentos onde conseguiu obter as medidas sobre o tamanho da molécula de água, chegando ao resultado de  $6,8 \times 10^{23}$  para o número de Avogadro. Perrin publicou seu livro em 1913, *Les atomes*, onde colocou todas as ideias de forma a provar a realidade física do átomo. As explicações de Einstein e Smoluchowski, tal como as medições de Perrin, colocaram um ponto final em uma polêmica que durou séculos (SILVA & LIMA, 2007).

## **CAPÍTULO 3**

### **A NANOTECNOLOGIA E A NANOCIÊNCIA**

Ao longo do século XX surgiu uma nova tecnologia capaz de manusear materiais na escala nanométrica, a chamada “Nanotecnologia”. Já quando se estuda estruturas moleculares e atômicas da ordem nanométrica, denomina-se “Nanociência” (PIMENTA & MELO, 2007). A Nanotecnologia e a Nanociência são áreas que estão em grande destaque dentro da atualidade, principalmente no meio acadêmico, gerando, também, efeitos que possam ser aplicados em interesses biomédicos ou tecnológicos. Portanto, é primordial que estudantes, desde o ensino fundamental até trabalhadores que lidam com nanomateriais, conheçam os riscos e benefícios dessa nanotecnologia (FAGAN, 2020a).

#### ***3.1 Escalas de medidas***

Ao se tentar tomar café sem moer os grãos, ou tentar fazer pão com grãos de trigo, observamos que o tamanho dos materiais faz diferença. Pois, para alguns materiais, determinadas características só aparecem quando estão bem pequenos, como no caso do pó de café e da farinha de trigo. Então, para se compreender o potencial e o impacto da Nanotecnologia e Nanociência, devemos compreender suas escalas de medidas. Logo, iremos fazer uma comparação entre as escalas macro, micro e nano (FAGAN, 2020a).

Ainda de acordo com Fagan (2020a), ao observar e manusear materiais na escala “macro”, podemos visualizá-los a olho nu, ou seja, sem nenhum tipo de instrumento tecnológico. Ao analisarmos esses materiais, verificamos que suas propriedades, tais como temperatura; eletricidade; magnetismo; movimento; etc., podem ser compreendidas através da física clássica. Na figura 11 podemos fazer uma comparação entre as escalas.

Figura 11. Comparação entre as escalas macro, micro e nano



Fonte: (FAGAN, 2020a)

Já para se observar e manipular materiais na escala “micro”, é necessário o uso de instrumentos tecnológicos, como microscópio óptico; lentes de aumento; dentre outros, para visualizar os materiais. Podemos destacar a invenção dos transistores, na década de 1950, que foram desenvolvidos na escala micro, dando-se início a microeletrônica (FAGAN, 2020a).

A escala nano vem do grego que significa “anão” e representa a bilionésima parte do metro, que se representa da forma 10<sup>-9</sup>m. Agora para observar e manusear materiais nessa escala devemos utilizar aparatos tecnológicos avançados, como microscopias atômicas; espectroscopias ultra sensíveis; técnicas de produção com controle atômico; etc. (FAGAN, 2020a). Para Loos (2014 apud FAGAN, 2020a), é com a nanoescala que podemos trabalhar em nível molecular, com o objetivo de criar novas estruturas moleculares capazes de atingir novas propriedades.

### ***3.2 Os primeiros passos da nanotecnologia e nanociência***

De acordo com Navarro (2006), a relação do homem com o manuseio dos materiais para ajudar sua sobrevivência já acontece a milhares de anos, vindo desde a idade da pedra lascada, passando pela idade da pedra polida, até chegar à idade dos metais. As experiências adquiridas com o passar do tempo trouxeram uma evolução, com novas técnicas no processo de manuseio desses materiais. Segundo Tonet & Leonel (2019), não temos como definir uma data precisa para o início do manuseio de materiais em escala nano pelo homem. Antes mesmo dos termos Nanotecnologia e Nanociência existirem já se utilizavam nanomateriais para a fabricação de materiais e utensílios. Nanopartículas de ouro e prata eram utilizadas na fabricação de vitrais para as igrejas na Europa, devido a suas propriedades ópticas e químicas. Eram, também, responsáveis pelas diversas cores vistas nos vitrais e, inclusive, realizavam a purificação do ar. De acordo com Deshmukh *et al* (2019 apud TONET & LEONEL, 2019), as nanopartículas quando irradiadas pela luz do sol funcionam como fotocatalizadores naturais, sendo responsáveis pela purificação do ar.

Outro artefato que usava nanopartículas no passado era a taça de Lycurgus, que pertencia ao Império Romano, no século IV d.C., constituída de nanopartículas de ouro e prata, possuindo cores distintas dependendo da localização da fonte de luz. Sua cor fica esverdeada quando a fonte emissora de luz está fora da taça, devido às nanopartículas de prata, e avermelhada quando a fonte emissora de luz está do lado de dentro da taça, devido às nanopartículas de ouro (FRESTONE *et al.*, 2007; HUTCHINGS, 2018 apud TONET & LEONEL, 2019). Pode-se citar, ainda, as famosas espadas de aço de Damasco, de cerca de 300 e 1.700 d.C., conhecidas pelo seu alto poder de corte e resistência ao choque de suas lâminas. O poder de suas lâminas vinha do carbono existente em seu “fio e tubo”, que hoje sabemos que são nanotubos de carbono, que melhoravam suas propriedades (FAGAN, 2020a). A figura 12 representa materiais e utensílios antigos, que já utilizavam nanomateriais em sua produção.

Figura 12. O uso dos nanomateriais em tempos remotos



Fonte: (FAGAN, 2020a)

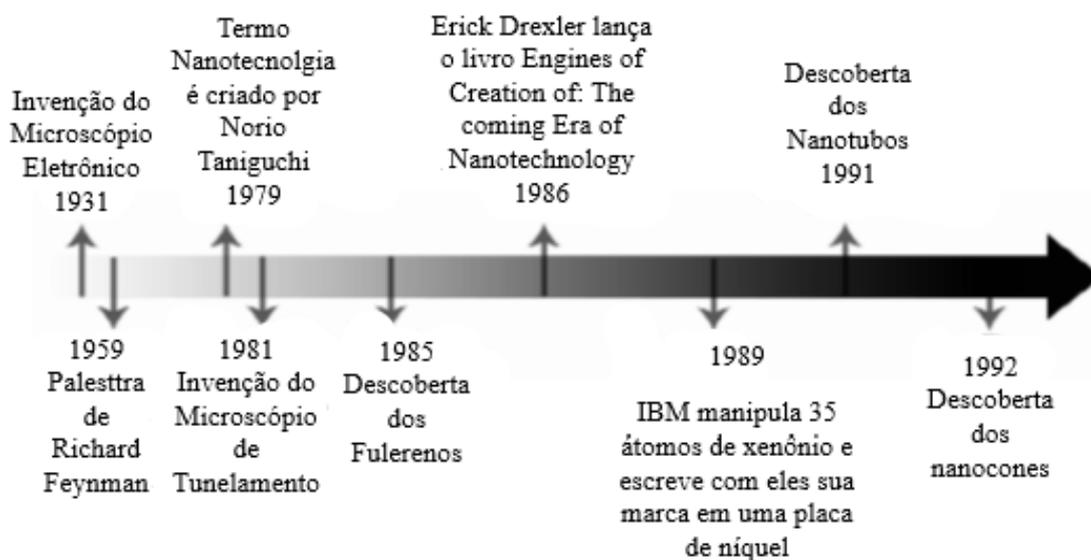
Para que o homem começasse a visualizar e manipular os materiais na escala nano, foi necessária a utilização de instrumentos altamente sofisticados, com uma alta capacidade de visualização, que só foi possível a partir do uso do microscópio de varredura por tunelamento (Scanning Tunnelling Microscopy, STM) e do microscópio de força atômica (Atomic Force Microscopy, AFM). Além de ser capaz de possibilitar a visualização de um único átomo, o equipamento provou ser eficaz no desenvolvimento de nanoestruturas, com a manipulação de átomo por átomo, ideia já apresentada por Arthur Von Hippel, 25 anos atrás. A descoberta desses aparelhos foi de grande importância para o desenvolvimento da nanotecnologia nos anos 80, pois são capazes de mapear a superfície em resolução atômica (TONET & LEONEL, 2019).

Quando falamos em Nanotecnologia e Nanociência, não podemos deixar de falar do Físico americano Richard Feynman, considerado por muitos como o criador da Nanotecnologia e Nanociência. Em sua palestra, intitulada *There is plenty of room at the bottom*, ou seja, “*Há mais espaços lá embaixo*”, realizada em Dezembro de 1959, apresentou suas ideias sobre nanotecnologia ao mundo (TONET & LEONEL, 2019). Segundo Schulz (2013 apud TONET & LEONEL, 2019), um ano antes da palestra de Feynman, o Físico e engenheiro americano

Jack Kilby, ganhador do Prêmio Nobel pela invenção do circuito integrado, já tinha pensado em fazer miniaturização com componentes eletrônicos, como capacitores e resistores, em seu laboratório, em um pequeno pedaço de silicóne. Outro grande cientista da nanociência foi Arthur Von Hippel, que publicou o artigo *Molecular Engineering* (Engenharia Molecular), onde, pela primeira vez, foi discutida a ideia da construção de materiais a partir de átomos e moléculas, em 1956 (SCHULZ, 2018 apud TONET & LEONEL, 2019).

Segundo Edwards (2006 apud TONET & LEONEL, 2019), o termo nanotecnologia só veio a existir quando o professor Norio Taniguchi publicou seu artigo *On the Basic Concept of Nanotechnology* (O conceito básico de Nanotecnologia), em 1974. Em seu estudo o professor afirmou que a nanotecnologia consiste no processo de separação, consolidação e deformação dos materiais por uma molécula ou átomo. Mais de 10 anos depois, no ano de 1986, o termo tornou-se popular, devido à publicação do livro *Engines of creation* (Motores da criação), pelo engenheiro americano Eric Drexler. O desenvolvimento computacional e o entendimento cada vez maior de teorias e leis da mecânica quântica ajudaram muito a compreender o mundo nano. Isso fez com que cientistas de diversas áreas fossem capazes de visualizar, fabricar e manipular estruturas, e que, pelo menos, apresentassem uma dimensão nanométrica, e que suas propriedades possam ser mudadas devido a essa dimensão (FAGAN, 2020a). A figura 13 representa a evolução histórica da Nanotecnologia e Nanociência.

**Figura 13. Marcos históricos da Nanotecnologia e Nanociência**



Fonte: (MARTINS, 2009)

### 3.3 Os nanomateriais

A grande importância dos materiais em escala nanométrica está relacionada às suas alterações físicas e químicas. Muitas das leis da Física Clássica que conhecemos não são válidas nessa escala, onde passam a prevalecer as leis da Física Quântica (SOARES, ALMEIDA, SILVA, 2017 apud TONET & LEONEL, 2019). Segundo Pimenta & Melo (2007), nanopartículas esféricas de ouro, dependendo do seu tamanho, possuem coloração diferente e suas cores podem variar no espectro do visível. Para Pimenta & Melo:

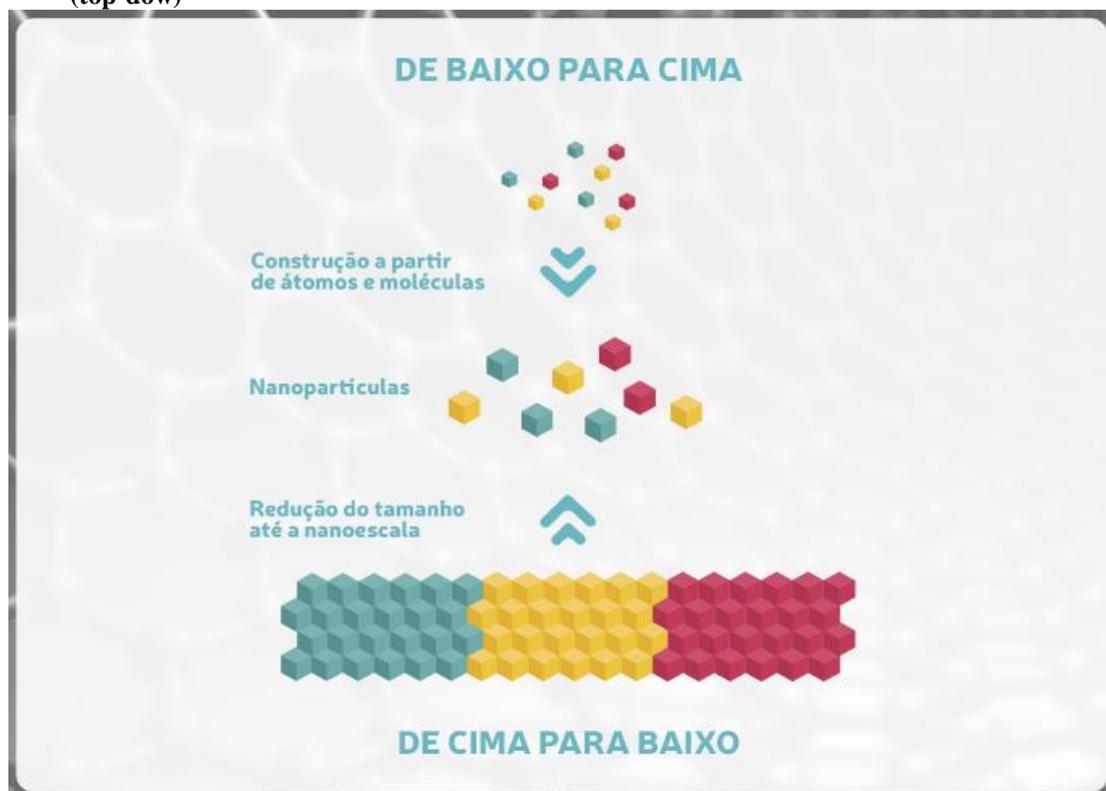
Na verdade, a alteração das propriedades de um material ao atingir a escala nanométrica se deve à combinação de dois fatores: enquanto, por um lado, é em objetos com essas dimensões que os efeitos quânticos se manifestam de maneira mais evidente, por outro, se observa que quanto menor for o tamanho da amostra, mais importantes se tornam os efeitos de superfície, pelo aumento da proporção entre sua área e seu volume. (PIMENTA & MELO, 2007, p. 10)

Basicamente, a mudança das propriedades físicas dos nanomateriais está relacionada a dois fatores: 1) interações com o meio; 2) área superficial do material, como, por exemplo, o fenômeno óptico denominado Ressonância Plasmônica de Superfície Localizada (LSPR, do inglês Localized Surface Plasmon Resonance), que ocorre quando uma onda eletromagnética incide sobre nanoestruturas metálicas. Este evento ocorre quando os elétrons livres entram em ressonância na superfície do material com a onda eletromagnética incidente, gerando, com isso, um aumento do campo elétrico na superfície do material metálico, modificando as propriedades ópticas do material. Sabe-se que estas propriedades são modificadas de acordo com o tamanho, formato e material das nanoestruturas utilizadas (WU, MATHEWS, SUM, 2017 apud TONET & LEONEL, 2019).

O aumento da área superficial dos nanomateriais é uma característica que promove uma mudança considerável nas propriedades das partículas, tornando-as mais reativas (LEONEL, 2010; SU *et al.*, 2019 apud TONET & LEONEL, 2019). Em virtude disto, possuem suas propriedades térmicas alteradas, absorvem o calor com mais rapidez e, como consequência, têm suas temperaturas de mudança de fases alteradas. À medida que aumentamos a área superficial, sua interação com o meio aumenta. Com base nisso, nanopartículas estão cada vez mais sendo utilizadas na aplicação de sensores biológicos e químicos, sendo utilizados como detectores de vírus, na remoção de gases tóxicos, e até mesmo no auxílio no transporte de medicamentos no organismo (ELAHI, KAMALI, BAGHERSAD, 2018 apud TONET & LEONEL, 2019).

Essas partículas nanométricas podem ser obtidas de duas formas distintas: I) de baixo para cima (bottom-up); e II) de cima para baixo (top-down). No procedimento de baixo para cima, os átomos e moléculas são ligados quimicamente e formam agregados auto-organizados, denominados “blocos de construção”, para a utilização em dispositivos nanométricos. Já no procedimento top-down, os materiais em escala macro ou micro são reduzidos até atingirem a escala nano, sendo assim, podemos dizer que os blocos de construção são removidos da estrutura para se obter um sistema na escala nano. Fazendo uma comparação entre os dois procedimentos, podemos dizer que o método top-down é como esculpir uma pedra para formar uma imagem, enquanto que o método do bottom-up é como construir uma casa de tijolos, ou seja, cada tijolo é disposto, de maneira a formar uma estrutura maior (IQBAL, PREECE, MENDES, 2012 apud TONET & LEONEL, 2019). A figura 14 representa os métodos (top-down) e (bottom-up) de obtenção de nanomateriais.

**Figura 14. Ilustração de obtenção de partículas de baixo para cima (bottom-up) e de cima para baixo (top-down)**



Fonte: (FAGAN, 2020a)

De acordo com Tonet & Leonel (2019), os materiais nanométricos, como transistores, chips e processadores, são produzidos somente quando uma de suas dimensões é da ordem

nanométrica ou quando se utilizam estruturas nanométricas em sua composição. Já para Pimenta & Melo:

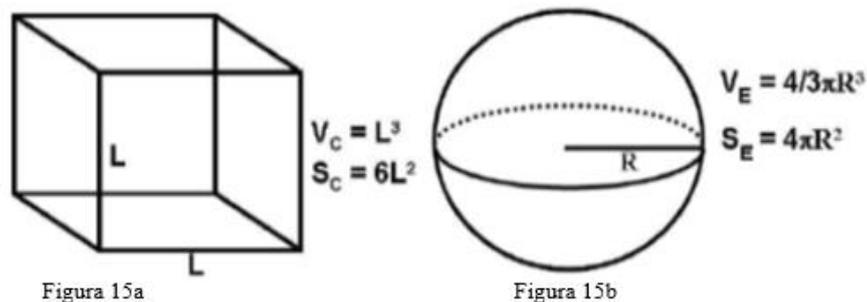
Em termos tecnológicos, uma primeira motivação para o desenvolvimento de objetos e artefatos na escala nanométrica está associada à possibilidade de que um número cada vez maior deles venha a ser reunido em dispositivos de dimensões muito pequenas, aumentando assim a compactação e sua capacidade para o processamento de informações. Por exemplo, o tamanho dos transistores e componentes se torna menor a cada nova geração tecnológica, o que permite uma maior performance de novos chips processadores que neles se baseiem; embora de tamanho igual ou menor aos da geração anterior, esses chips podem combinar número muito maior de componentes ativos em uma única unidade. Ao mesmo tempo, uma redução na escala física levará também a uma economia de energia, já que a potência desperdiçada por um dispositivo é proporcional a seu tamanho. (PIMENTA & MELO, 2007, p. 9 e 10)

### 3.4 Área superficial e o efeito em nanoestruturas

Podemos dizer que um dos principais efeitos na redução dos materiais da escala macro ou micro para a nanoescala está em seu aumento da exposição dos átomos através da sua área superficial. Devido a isto, materiais sofrem modificações em suas propriedades eletrônicas, ópticas e magnéticas, pois, na escala nano, a maioria dos átomos do material está em sua superfície (PIMENTA & MELO, 2007). Segundo Zanella et al. (2009), para que possamos entender melhor o efeito do aumento da área superficial mediante a diminuição do tamanho do material utilizaremos um cubo na escala macro, então o mesmo será dividido em partes cada vez menores, até atingir a nanoescala.

Consideremos um cubo de 1cm de lado dividido em N cubos iguais, até atingir a escala da ordem nanométrica. Ainda de acordo com Zanella *et al.* (2009), podemos, então, analisar a variação da área superficial, considerando o seu volume total e a sua massa constante.

Figura 15. A figura representa um cubo de lado L e esfera de raio R



Fonte: (ZANELLA *et al.*, 2009)

Conforme Fagan (2020b), o volume do cubo ( $V_C$ ) e a área superficial do cubo ( $S_C$ ) são dados pelas seguintes expressões  $V_C = L^3$  e  $S_C = 6L^2$ . figura 15a. Assim, a razão entre sua área superficial e o seu volume, será dada por  $\frac{S_C}{V_C} = \frac{6}{L}$

Agora iremos dividir o cubo em N cubos menores:

- ✓ Para um cubo de 1cm de lado, teremos como área  $S_C = 6 \times (1)^2 = 6\text{cm}^2$  e um volume de  $V_C = L^3 = (1)^3 = 1\text{cm}^3$ . A razão entre sua área e o seu volume será,  $\frac{S_C}{V_C} = \frac{6}{L} = 6\text{cm}^2/1\text{cm}^3 = 6\text{cm}^{-1}$ ;
- ✓ Se pegarmos esse cubo e o dividirmos em pedaços menores de um décimo (0,1cm), obteríamos 1.000 cubos desse mesmo tamanho. Então teremos uma área superficial  $S_C = 1000 \times 6 \times (0,1)^2 = 60\text{cm}^2$  e um volume  $V_C = 1000 \times (0,1)^3 = 1\text{cm}^3$ . A razão entre sua área superficial e o seu volume será,  $\frac{S_C}{V_C} = 60\text{cm}^2/1\text{cm}^3 = 60\text{cm}^{-1}$ ;
- ✓ Se considerarmos agora um cubo de aresta da ordem de 1nm, que é igual a  $10^{-7}\text{cm}$ , teremos  $10^{21}$  cubos nanométricos do mesmo tamanho. Então sua área superficial será  $S_C = 10^{21} \times 6 \times (10^{-7})^2 = 10^{21} \times 6 \times 10^{-14} = 6 \times 10^7\text{cm}^2$  com o volume de  $V_C = 10^{21} \times (10^{-7})^3 = 10^{21} \times 10^{-21} = 10^0 = 1\text{cm}^3$ . A razão entre a sua área superficial e o seu volume será  $\frac{S_C}{V_C} = 6 \times 10^7\text{cm}^2 / 1\text{cm}^3 = 6 \times 10^7\text{cm}^{-1}$ .

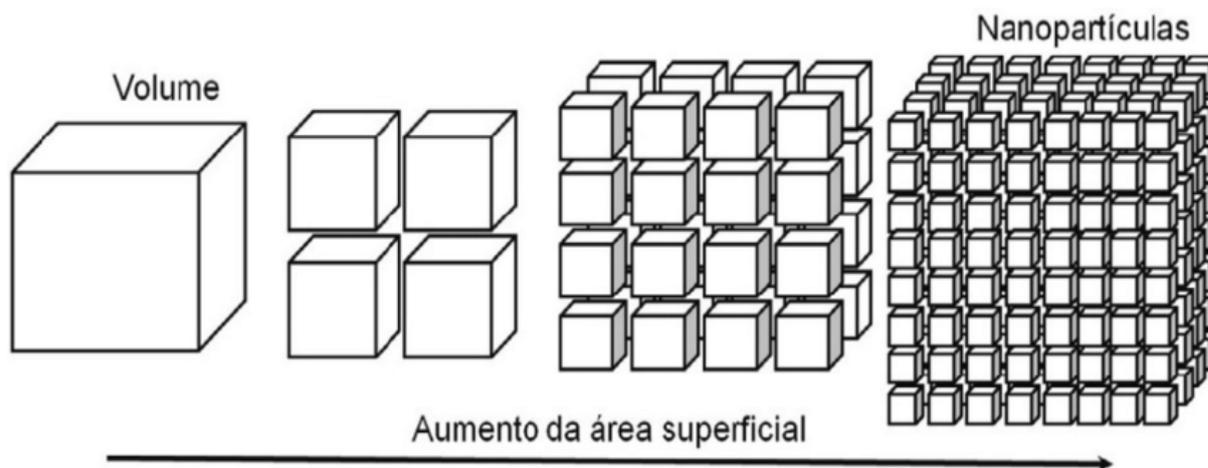
Assim, vemos que à medida que diminuimos o lado do cubo em partes cada vez menores, a área superficial é aumentada, mesmo mantendo o volume total constante (ZANELLA, FAGAN, BISOGNIN, & BISOGNIN, 2009). A tabela 2 mostra um cubo inicial dividido em N cubos idênticos, até que se obtenha cubos nanométricos do mesmo tamanho

**Tabela 2. Número, aresta, área superficial e escala dos cubos partindo da escala macroscópica até a nanométrica.**

Número cubos	Aresta do cubo	Área Superficial	Escala
1	1cm	6 cm <sup>2</sup>	macro
1.000 = 10 <sup>3</sup>	0,1cm	60 cm <sup>2</sup>	macro
1.000.000 = 10 <sup>6</sup>	0,01cm	600 cm <sup>2</sup>	macro
1.000.000.000 = 10 <sup>9</sup>	0,001cm = 10 μm	6.000 cm <sup>2</sup>	micro
1.000.000.000.000 = 10 <sup>12</sup>	0,0001cm = 1 μm	60.000 cm <sup>2</sup>	micro
1.000.000.000.000.000 = 10 <sup>15</sup>	0,00001cm = 100 nm	600.000 cm <sup>2</sup>	nano
1.000.000.000.000.000.000 = 10 <sup>18</sup>	0,000001 cm = 10 nm	6.000.000 cm <sup>2</sup>	nano
1.000.000.000.000.000.000.000 = 10 <sup>21</sup>	0,0000001 cm = 1nm	60.000.000 cm <sup>2</sup>	nano

Fonte: (ZANELLA *et al.*, 2009)

**Figura 16. Representação do aumento da área superficial**



Fonte: (CASTRO, CAVALCANTE, & PEDROSA, 2019)

Zanella et al. (2009), afirmam que podemos, também, ter essa mesma ideia com relação a outras figuras geométricas, assim como descrito na figura 16. Podemos citar, como exemplo, uma esfera maciça de ouro, de raio 2,31cm, densidade 19,6g/cm<sup>3</sup> e 1kg de massa, onde o volume é dado  $V_e = \frac{4\pi}{3}R^3$  e a sua área superficial é  $S_e = 4\pi R^2$  figura 15b. A razão dada pela área superficial da esfera e o seu volume é dada por  $\frac{S_e}{V_e} = \frac{3}{R}$ , pois o mesmo fenômeno é observado, ou seja, a medida que diminuimos o tamanho das partículas e mantemos o volume constante, há um aumento da área superficial. A Tabela 3 mostra a esfera inicial dividida em N esferas idênticas, até que seus raios se tornem nanométricos.

**Tabela 3. Número, aresta, área superficial e escala das esferas partindo da escala macroscópica até a escala nanométrica.**

Número de esferas	Raio da esfera	Área Superficial	Escala
1 = 10 <sup>0</sup>	2,31 cm	6,7012 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup>	macro
10 = 10 <sup>1</sup>	0,00231m = 2,31 mm	6,7012 x 10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup>	macro
100 = 10 <sup>2</sup>	0,000231 m = 231 μm	6,7012 x 10 <sup>-1</sup> m <sup>2</sup>	micro
1.000 = 10 <sup>3</sup>	0,0000231 m = 23,1μm	6,7012 m <sup>2</sup>	micro
10.000 = 10 <sup>4</sup>	0,00000231 m = 2,31 μm	6,7012 x 10 <sup>1</sup> m <sup>2</sup>	micro
100.000 = 10 <sup>5</sup>	0,000000231 m = 231 nm	6,7012 x 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	nano
1.000.000 = 10 <sup>6</sup>	0,0000000231 m = 23,1 nm	6,7012 x 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup>	nano
10.000.000 = 10 <sup>7</sup>	0,00000000231 m = 2,31 nm	6,7012 x 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	nano
100.000.000 = 10 <sup>8</sup>	0,000000000231 m = 0,231 nm	6,7012 x 10 <sup>5</sup> m <sup>2</sup>	nano

Fonte: (ZANELLA et al., 2009)

Ainda de acordo com Zanella et al. (2009), se considerarmos como exemplo o preço do ouro, que gira em torno de, aproximadamente, R\$ 331,84 o grama, observaremos que, com uma versão reduzida da amostra, o que o torna economicamente favorável, o rendimento será o mesmo. Ainda podemos destacar a utilização desses materiais na fabricação de dispositivos menores, elevando, assim, cada vez mais as inúmeras aplicações.

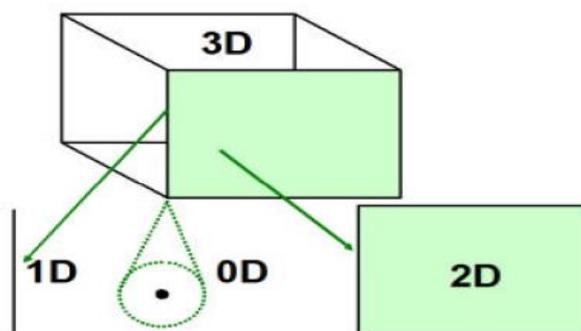
Como podemos ver, o aumento da área superficial implica no aumento de átomos presentes na superfície dos materiais que estão na escala nano. Essa situação abre diversas possibilidades de aplicações, como no caso de catalisadores; filtros nanométricos; sensores; materiais anticorrosão; etc. Não podemos esquecer que uma grande área superficial também implica em um alto poder de armazenamento, como pode ser observado em aparelhos eletrônicos, que possuem alta performance e pequeno volume. Podemos citar, como exemplo, o caso dos aparelhos celulares, que antes eram maiores e com poucos recursos, porém hoje são menores e com uma alta capacidade de processamento (FAGAN, 2020b).

Segundo Paschoalino, Marcone & Jardim (2010), outra condição atribuída ao aumento da área superficial é que materiais que na escala macro não são tóxicos, podem trazer danos ao meio ambiente ou organismos vivos, assim que se tornam materiais de escala nano, através da toxicidade dos nanomateriais. Paschoalino, Marcone & Jardim afirmam que “Um exemplo clássico é o ouro, que é um metal praticamente inerte, mas que na forma de nanopartículas se torna altamente reativo” (PASCHOALINO, MARCONE & JARDIM, 2010, p. 422).

### ***3.5 Tipos de nanoestruturas: 0d, 1d e 2d***

Como já sabemos, para se obter um nanomaterial basta, apenas, que uma de suas dimensões seja na escala nano, ou seja,  $10^{-9}$ m. De acordo com Fagan (2020b), para compreendermos melhor esse conceito usaremos, mais uma vez, o cubo como exemplo, como pode ser visto na figura 17.

Figura 17. Esquema relacionando as diferentes dimensões em um cubo, 3 a 0D



Fonte: (ZANELLA *et al.*, 2009)

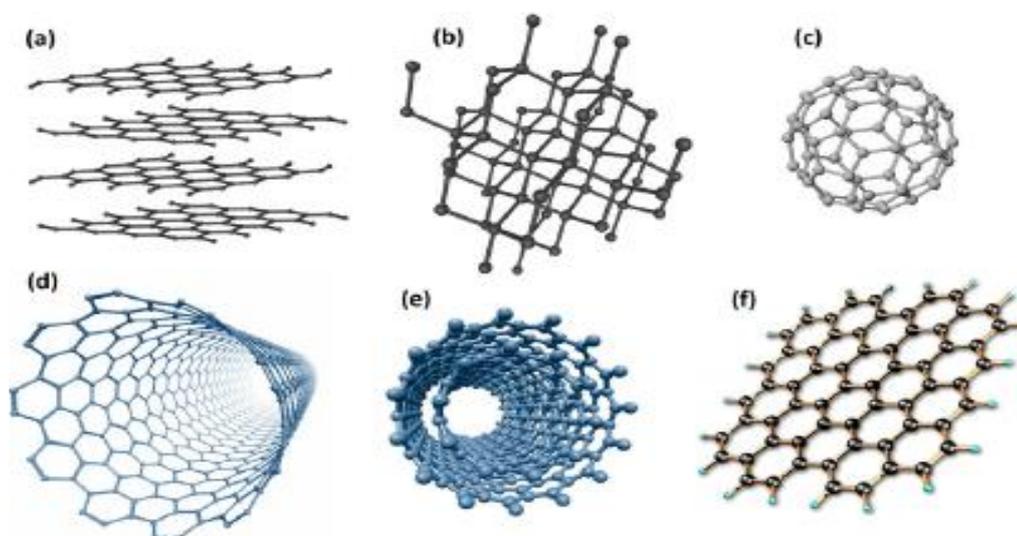
- ✓ O cubo está representado em três dimensões (3D), pois ocupa as coordenadas (x, y, z);
- ✓ Ao analisarmos somente uma face desse cubo, estaremos tratando-o como uma figura bidimensional (2D), uma vez que suas coordenadas (x,y) estão em um plano e sua outra coordenada possui dimensão nanométrica;
- ✓ Se escolhermos, a partir de uma de suas arestas, que possui uma dimensão definida (y), iremos ter uma estrutura unidimensional (1D), pois as coordenadas (x, z) estão na nanoescala;
- ✓ Agora, se escolhermos estruturas com um único ponto, estaremos adotando estruturas que não possuem dimensão (0D), ou seja, todas as suas dimensões são nanométricas.

Para Fagan (2020b), ao analisarmos o limite em uma de suas dimensões, vimos que diversas possibilidades são possíveis na engenharia estrutural dos materiais, que estão fortemente relacionadas com o confinamento quântico e com as propriedades eletrônicas, magnéticas e ópticas, dentre outras. Ainda de acordo com Fagan (2020b), podemos encontrar nanomateriais na natureza ou em estruturas sintetizadas de diferentes dimensões. Um dos elementos mais versáteis e conhecidos é o carbono, pois forma estruturas naturais ou sintetizadas, com dimensões que vão de 3D a 0D. Na figura 18 podemos verificar compostos oriundos do carbono, que podem ser classificados da seguinte forma:

- ✓ 3D, conhecido como material bulk, podemos citar estruturas como o diamante, e o grafite, pois nelas todas as dimensões estão em escala macro;
- ✓ 2D, o material bidimensional, que possui uma dimensão em escala nanométria, como é o caso do grafeno, neste caso a sua largura, e as outras duas dimensões em um plano macroscópico;

- ✓ 1D, os materiais unidimensionais, assim como os nanotubos de carbono, possuem o comprimento da ordem de alguns microns e o seu diâmetro tubular na ordem dos nanômetros;
- ✓ 0D, no caso dos materiais adimensionais, como os fulerenos, que nada mais são que estruturas de carbono no formato esférico, na qual sua dimensão é da ordem dos nanômetros e que, em relação a estruturas macroscópicas, podem ser comparados com um ponto.

**Figura 18. Diferentes dimensões observadas na estrutura do carbono:**  
a) Grafite(3D); b) Diamante(3D); c) Fulereo(0D); d) Nanotubos de carbono de parede única(1D);  
e) Nanotubos de paredes múltiplas(1D); e f) Grafeno(2D)



Fonte: (ZARBIN & OLIVEIRA, 2013)

Existem outros materiais que também apresentam estruturas que vão da ordem 3D a 0D, como o ouro; a prata; o dióxido de titânio; os polímeros; etc. Atualmente, temos visto que a diversidade de nanomateriais em escala 0D, 1D e 2D vem crescendo demasiadamente. Este fato tem relação com o controle no processo da síntese na manipulação e caracterização dos materiais, já que as técnicas e o conhecimento teórico permitem esse desenvolvimento (FAGAN, 2020b).

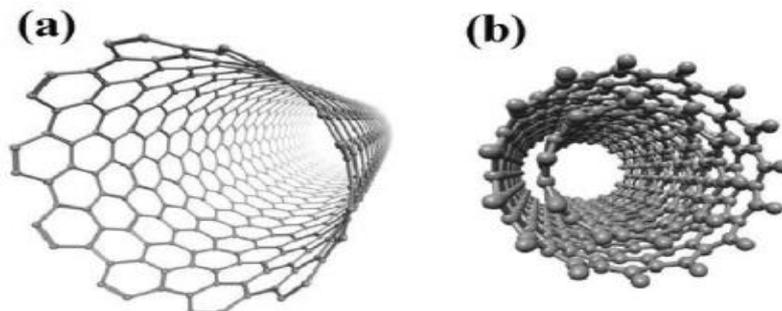
### 3.6 Os nanomateriais à base de carbono

O carbono é o elemento químico que está presente em diversas substâncias encontradas na natureza, como DNA, RNA e carboidratos. Possui ligações químicas distintas, adotando diferentes hibridizações ( $SP$ ,  $SP^2$  e  $SP^3$ ) e forma até 4 ligações covalentes, com diferentes

estruturas de carbono. Podemos citar alguns exemplos, como diamante; grafite; fulereno; grafeno; nanotubo de carbono; etc. Em 1991, Sumio Iijima, descobre os nanotubos de carbono (CNT, do inglês carbon nanotube), que são alótropos de carbono formados por cilindros com alguns nanômetros de diâmetro e microns de comprimento. Os nanotubos podem ser classificados como nanotubos de parede única (SWNTs), do inglês single-walled nanotubes, que são como uma camada de átomos de carbono enrolados em torno de si mesmo figura 19a; e os nanotubos de paredes múltiplas (MWNTs), do inglês multi-walled nanotubes, que são como nanotubos de carbono de parede única, um por dentro do outro, ou seja, de forma coaxial e diferentes diâmetros figura 19b (TIELAS *et al.*, 2014).

Dependendo da forma em que os nanotubos são enrolados, eles podem apresentar propriedades metálicas ou semicondutoras. Os nanotubos apresentam alta resistência mecânica e alta flexibilidade, além de serem ótimos condutores elétricos e térmicos (ZARBIN & OLIVEIRA, 2013).

**Figura 19. Representação dos nanotubos de carbono de:**  
a) parede única (SWNT); e b) paredes múltiplas (MWNT)

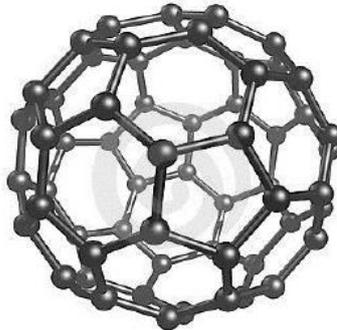


**Fonte: (LIMA, SILVA, & SILVA, 2017)**

Segundo Pereira & Antônio (2012), os fulerenos, figura 20 são alótropos moleculares do carbono, ou seja, são formados pelo mesmo elemento químico, descobertos em 1985, por Kroto, Curl e Smalley. São uma estrutura de carbonos constituídos de número par de átomo  $sp^2$ , hibridizados, que formam 12 anéis de formas pentagonais e hexagonais. A quantidade de carbono nos fulerenos pode variar, podendo ser formados por 20, 60, 70, 180, 240 e até 540 desses átomos. O  $C_{60}$  é o menor fulereno que contribui com a regra do pentágono, afirmando que os pentágonos devem estar separados entre eles por hexágonos evitando, assim, a instabilidade inerente aos pentágonos fundidos. O fulereno  $C_{60}$  possui átomos que estão truncados em seus vértices, sendo formado por 12 pentágonos e 20 hexágonos, que fazem com que todos os átomos de carbono se tornem equivalentes. Devido a isso, o fulereno vem despertando um grande interesse na comunidade acadêmica, em pesquisas relacionadas com

Física, Química e Engenharia de Materiais, por causa das suas propriedades magnéticas, estruturais e ópticas.

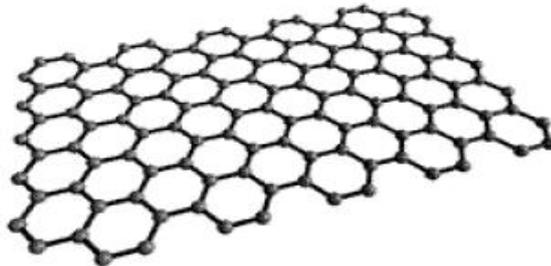
**Figura 20. Fulereo C<sub>60</sub>**



**Fonte: (TIELAS, *et al.*, 2014)**

Em 2004, Geim e Novoselov anunciaram a descoberta do grafeno, figura 21 que também é um alótropo molecular do carbono. É o material mais forte, mais leve e mais fino conhecido. Possui uma camada em forma de favo de mel, com a espessura de um átomo, com ligação carbono-carbono da ordem de 0,142nm. O grafeno é o material com maior condutividade elétrica conhecido até hoje, possuindo uma condutibilidade térmica superior à dos nanotubos de carbono e diamante e uma imensa resistência, que supera em 200 vezes a resistência do aço (TIELAS *et al.*, 2014).

**Figura 21. Camada de grafeno**



**Fonte: (TIELAS, *et al.*, 2014)**

Os nanomateriais que são à base de carbono têm uma importante aplicação no ramo de energia, pois possuem intenso potencial nas aplicações relacionadas a áreas de armazenamento de hidrogênio e energia elétrica. As pilhas e capacitores de nanomateriais de carbono possuem uma aplicação com destaque em armazenagem de energia. Assim, outros materiais, como células solares e células combustíveis, também são exemplos de nanomateriais a base de carbono que têm suas aplicações em armazenamento de energia. Também foi visto que estudos

de nanomateriais à base de carbono voltados para engenharia de tecidos e transplantes geram mais interesse do que os relacionados com administração de medicamentos. Outra importante aplicação está na utilização de nanotubos de carbono em filtros (TIELAS, et al., 2014).

### ***3.6.1 Aplicações em potencial dos nanomateriais à base de carbono na indústria***

Segundo Zarbin & Oliveira (2013), existe um universo bem vasto de aplicações de nanomateriais à base de carbono, como o grafeno e o nanotubo de carbono em diversas áreas. Aqui serão apresentados, resumidamente, alguns desses exemplos:

- ✓ Compósitos: aplicação de nanotubos de múltiplas paredes aplicados em materiais compósitos com polímeros. A introdução de certas quantidades de nanotubos em polímeros (0,01% em massa de 20%), fará com que os materiais venham a ter um aumento de sua resistência mecânica, química e condutividade, além de uma melhora acentuada nas propriedades térmicas;
- ✓ Energia: utilização dos nanotubos em transmissão e conversão de energia elétrica. Em especial os nanotubos de paredes múltiplas vêm sendo utilizados em baterias de íons lítio para notebooks e celulares, o que faz com que as baterias aumentem a sua condutividade elétrica, sua resistência mecânica e o seu tempo de vida útil;
- ✓ Meio ambiente: processo de aplicação de nanotubos voltado para a purificação e descontaminação de águas (filtros e membranas);
- ✓ Catálise: a utilização de nanotubos de carbono e grafeno como suporte de catalisadores (sendo óxidos, metálicos ou, até mesmo, moleculares), tendo, inclusive, inúmeras reações catalisadas pelo próprio grafeno e nanotubo;
- ✓ Eletrônica: a utilização de nanotubos de carbono de paredes simples é um forte candidato a ser utilizado na fabricação de transistores (FET – field effect transistors), devido ao seu alto poder de quiralidade e alta pureza, e com um melhor desenvolvimento para os elementos feitos em silício. Já os nanotubos de paredes múltiplas vão substituir o cobre nas conexões em placas e dispositivos microeletrônicos, o que implica em menos perda, gerando um aumento na capacidade da corrente;
- ✓ Filmes finos: outra aplicação a ser utilizada para os nanotubos, o grafeno e seus nanocompósitos está no desenvolvimento de eletrodos transparentes condutores, com o objetivo de substituir o ITO (óxido de lítio dopado com óxido de estanho), que será utilizado na fabricação de touch screens, Led's e Oled's e, ainda, células solares

flexíveis. Existe, também, uma forte apelação para que esses materiais sejam usados para a produção de filmes para recobrimento e proteção anti-corrosão.

Para Hohenstein (2015 apud Marion & Hasan, 2016)), existem diversas empresas, em vários países no mundo, que buscam pesquisas relacionadas ao uso do grafeno com o objetivo de melhorar os materiais e buscar uma qualidade de vida melhor para as pessoas. Na Europa, o Instituto Hohenstein; as empresas alemãs Ionic Liquids Technologies (IoLiTec), Fuchsuber Techno-Tex; e as belgas Centexbel e Soieries Elite, estão investindo na pesquisa do uso do grafeno nos tecidos utilizados na produção de roupas de proteção contra o fogo. O tecido utilizado na fabricação desses materiais poderá dar um retardamento da propagação das chamas e, também, funcionará como uma barreira contra a propagação do calor e dos gases.

Segundo Cuthbertson (2014 apud Marions & Hasan, 2016), outro exemplo que podemos citar vem da universidade de Munique na Alemanha na produção de uma retina artificial, onde físicos estão analisando propriedades do grafeno que servirão como elementos chave na produção desses implantes. Esses implantes estão baseados no seguinte funcionamento: os implantes têm a capacidade de converterem a luz que incide sobre a retina em impulsos elétricos que são enviados para o cérebro através do nervo óptico e são convertidos no cérebro em imagens, fazendo, assim, com que pessoas deficientes visuais possam enxergar. Esses implantes já são utilizados desde 2013, porém devido a incompatibilidade do material com o organismo, as chances de sucesso são poucas. Contudo, com a utilização do grafeno serão bem mais promissoras as chances de sucesso, pois o grafeno é consideravelmente mais biocompatível com relação aos materiais tradicionais, pois possui uma alta flexibilidade e durabilidade química.

De acordo com Lockheed (2013 apud Marion & Hasan, 2016), devido ao aumento populacional global, que gera impacto no consumo de água potável no mundo, a Lockheed Martin, na América, vem trabalhando na dessalinização da água do mar através do material Perforene, que nada mais é que uma solução de filtração molecular. Esse material apresenta em sua estrutura buracos da ordem nanométrica em uma folha de grafeno. Como são bem pequenos, eles conseguem segurar sódio, lítio e outros íons, até mesmo outros elementos, a partir da água do mar, melhorando, consideravelmente, o fluxo de moléculas de água, fazendo com que haja uma diminuição do entupimento e da pressão sobre a membrana. Devido ao fato de que a água flui 100 vezes melhor do que no processo de osmose reversa, isso torna a dessalinização da água mais eficiente.

A gigante IBM, já sabendo da importância do mercado do grafeno, desenvolveu um receptor de rádio frequência, onde os transistores possuem os canais feitos à base de grafeno, e um circuito integrado feito com um receptor também à base de grafeno, utilizados em comunicações sem a necessidade de fio (IBM, 2015 apud MARION & HASAN, 2016).

## CAPÍTULO 4

### APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DE NANOTECNOLOGIA NO MERCADO E SEUS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE E NA SAÚDE

A nanotecnologia tem como base juntar diversas áreas com o objetivo de gerar novos conhecimentos e novas especializações, promovendo, assim, a inovação tecnológica. A tabela 4 mostra as aplicações de nanotecnologia em diversas áreas.

**Tabela 4. Aplicações de nanotecnologia em diversas áreas**

Aplicações eletrônicas, optoeletrônicas e magnéticas	Aplicações biomédicas, farmacêuticas e cosméticas	Aplicações de energia, catalíticas e estruturais
Fibra óptica	Antimicrobiana	Catalizador automóvel
Fósforo	Biodetecção e etiquetagem	Membranas
Dispositivos ópticos quânticos	Separações biomagnéticas	Células de combustível
Capacitores multicamadas	Distribuição de substâncias	Fotocatalizadores
Fluidos de selagem magnética e mídia de gravação	Agentes de contraste MRI	Propelentes
Revestimentos de eletrocondução	Ortopédicos/Implantes	Revestimentos à prova de riscos
Polimento químico	Filtros solares	Cerâmica estrutural
Polimento mecânico	Revestimentos de spray térmicos	Células solares

Fonte: (TIELAS *et al.*, 2014)

A nanotecnologia e a nanociência têm evoluído muito nos últimos anos. Suas aplicações mais comuns conseguem descrever essa evolução, como o processo de miniaturização dos dispositivos eletrônicos. A nanotecnologia tem o potencial de melhorar o desenvolvimento da produção industrial em outras áreas, assim como catalizadores, com base na busca de novos processos inovadores e sustentáveis, utilizando, assim, menos energia e matéria prima. A utilização de nanotecnologia no setor industrial faz com que a produção de nanomateriais aumente em uma escala industrial. A nanotecnologia tem um poder de impacto que envolve desde dispositivos baseados em eletrocromismo<sup>2</sup>, até a utilização de partículas magnéticas,

---

<sup>2</sup> O eletrocromismo consiste na mudança das propriedades ópticas de um determinado material após a aplicação de um estímulo elétrico na forma de corrente ou potencial. A mudança de coloração neste tipo de material ocorre devido à presença de grupos ou moléculas cromógenas que absorvem a perturbação elétrica e, como resposta, alteram suas propriedades ópticas. Materiais podem ser considerados eletrocromicos se apresentam distintas

aplicadas no processo de separação e extração em biotecnologia, alimentação e farmacêuticas. Existem outros projetos, como a utilização de nanopartículas na fabricação de papel e nanomateriais em lubrificantes fluidos. Também existem esforços de pesquisa voltados à produção de produtos têxteis antimicrobianos, salvando vidas, e na utilização de revestimento de materiais metálicos, dando, assim, uma maior resistência a altas temperaturas, como, por exemplo, em turbinas a vapor e a gás; caldeiras; motores; materiais de proteção ao fogo; etc. (TIELAS *et al.*, 2014).

#### **4.1 Aplicações atualmente no mercado**

Existe, atualmente no mercado, uma gama de produtos que já utilizam tecnologia baseada em nanotecnologia. Aqui serão citados os seguintes exemplos:

- ✓ Vidro para automóveis - Os vidros utilizados em automóveis possuem uma camada de óxido de titânio que, ao entrar em contato com a luz solar, reage, eliminando, assim, a sujeira. O fato é que, quando a água entra em contato com o vidro, em vez de formar gotas, ela espalha-se de forma uniforme ao longo da superfície, escorrendo rapidamente e levando a sujeira. Na indústria automotiva são utilizadas, também, técnicas de nanotecnologia em sua produção, com o objetivo de reforçar a propriedade de certas peças, como a dos para-choques, e em um melhor desempenho da propriedade adesiva da tinta utilizada na pintura (TIELAS *et al.*, 2014);
- ✓ Óculos de sol - As nanopartículas são utilizadas em revestimentos de polímeros, com camadas bem finas, antirreflexo e protetores, e na utilização de revestimento à base de nanocompósitos transparentes, capazes de resistir a riscos ultra finos, fáceis de serem cuidados, indicados para o uso diário e com um preço razoável (TIELAS *et al.*, 2014);
- ✓ Tecidos – Está relacionada à nanotecnologia uma melhora nas propriedades, como a impermeabilidade à água, a resistência ao vento e a proteção às descargas elétricas. Por exemplo, as propriedades de um casaco de ski, que são à prova de vento e de água, são obtidas através de nanofibras e não do revestimento da superfície do casaco. Estão

---

mudanças de coloração reversíveis quando submetidos a uma reação de oxidação ou redução, sejam estas mudanças de transparente para colorido, ou mesmo a mudança entre cores (QUINTANILHA, et al., 2014, p. 677).

incluídos em projetos futurísticos o uso de roupas inteligentes, ou seja, roupas com sensores, com a capacidade de monitorar o corpo humano, podendo, até mesmo, liberar medicamentos em quantidades indicadas ou fazer conexão com a internet (TIELAS *et al.*, 2014);

- ✓ Equipamento desportivo - Raquetes à base de nanotubos de carbono são mais resistentes à torção e possuem uma maior flexibilidade. Elas possuem uma rigidez superior às raquetes feitas à base de carbono. Já as bolas de tênis, são feitas com nanocompósitos de polímeros de argila, que aumentam a duração das bolas em relação às convencionais (TIELAS *et al.*, 2014);
  
- ✓ Cosméticos e protetores solares - Alguns protetores solares usam nanopartículas insolúveis de dióxido de titânio, pois eles possuem várias vantagens, como, por exemplo, uma maior proteção ao ultra violeta, capacidade de dispersão, assim como sua incorporação. Também são utilizadas outras nanopartículas, como o óxido de zinco, em protetores solares. A utilização desses produtos vem agradando muito a seus consumidores pelo fato de minimizarem a aparência esbranquiçada dos protetores tradicionais, gerando, assim, um produto mais transparente e com um melhor espalhamento na pele. Possuem um tempo de proteção muito maior e não saem na água, podendo ficar na pele por um bom tempo sem sofrer danos por fatores externos. As nanopartículas também estão presentes em cápsulas de polímeros, para o transporte de agentes ativos, como vitaminas, que são utilizadas em cremes antirrugas (TIELAS *et al.*, 2014);
  
- ✓ Processadores de computador – A nanotecnologia também está presente na produção de dispositivos de alta tecnologia, como é o caso dos processadores que possuem o tamanho da ordem de 45nm. Esses dispositivos possuem uma alta capacidade de armazenamento, assim como também podem trabalhar em altas velocidades (TEIXEIRA, 2020);
  
- ✓ Medicina - Pesquisadores da USP e UNICAMP descobriram que, ao adicionar reembasadores de vanadato de prata com partículas de prata em próteses dentárias, que são agentes antimicrobianos, cria-se um produto capaz de dar mais conforto e evitar infecções aos pacientes portadores de prótese dentária. Quando estão apoiados sobre a

gingiva, os materiais da base têm a função de diminuir a força aplicada ao osso, assim como ajudar no processo de cicatrização de implantes (ARRUDAS, 2020);

- ✓ Uma equipe de pesquisadores da USP vem desenvolvendo uma vacina em spray de combate à covid-19. Eles desenvolveram uma nanopartícula a partir de uma substância natural e introduziram dentro desta uma proteína do covid-19. Quando adicionamos o spray nasal, são produzidos anticorpos contra infecção na saliva, na lágrima, no colostro, e em superfícies do trato respiratório, intestino, útero, entre outros. Tal procedimento deve impedir que o vírus penetre na célula, assim como evitar que se instale no local da aplicação. A nanopartícula possui, também, a propriedade muco-adesiva, pois, assim que entra em contato com o corpo, permanece por aproximadamente três horas, dando o tempo necessário para que o patógeno seja absorvido pelo corpo e ative a resposta imune. Outra observação importante é que, durante esse tempo, o vírus não pode ser transmitido através do ato de espirrar (MARIZ, 2020).

#### ***4.2 O impacto da nanotecnologia no ambiente e na saúde***

Sabe-se que, junto com a evolução tecnológica, além dos seus benefícios, também existem seus riscos. Não há dúvida de que a nanotecnologia tem a capacidade de oferecer novas perspectivas de qualidade de vida às pessoas e de preservação do meio ambiente. Para Quina (2004), existem três principais áreas que podem ser bem beneficiadas mediante a nanotecnologia. São elas:

- ✓ *Na prevenção de poluição ou dos danos indiretos ao meio ambiente:*

Utilizando-se nanomateriais catalizadores, que são capazes de aumentar a seletividade e a eficiência na produção de seu material industrial, consegue-se diminuir a quantidade de resíduos industriais. A utilização da nanotecnologia possui, também, uma contribuição na produção de energia de baixo consumo. As nanoestruturas de origem biológica podem ser usadas na produção de materiais microeletrônicos. Elas têm feito parte de novos modelos de displays para televisão, celular e computadores, que são flexíveis ao ponto de serem dobráveis, como uma folha de papel, são muito mais leves, possuem uma alta definição, não utilizam materiais tóxicos na sua produção e são extremamente econômicos (QUINA, 2004);

✓ *No tratamento ou remediação de poluição:*

As nanopartículas possuem uma área superficial grande, isso lhe proporciona, em determinadas situações, ótimas propriedades de adsorção de metais e substâncias orgânicas. Assim, a próxima etapa segue com a coleta de partículas e a remoção de poluentes, que podem ser facilitadas através do uso de nanopartículas magnéticas. Também podem ser utilizadas nanopartículas com propriedades redox e/ou de semicondutor no tratamento de águas e solos contaminados (QUINA, 2004);

✓ *Na detecção e monitoramento de poluição:*

Com a chegada da nanotecnologia, foi possível produzir sensores menores capazes de detectar com maior precisão os poluentes orgânicos e inorgânicos do meio ambiente. À medida que os sensores vão avançando tecnologicamente, na detecção de novos poluentes, vêm acompanhados de uma melhoria no processo de produção industrial, implicando em uma detecção mais rápida e eficiente de contaminação; na verificação da progressão do tratamento dos poluentes em tempo real; na análise mais detalhada do quantitativo de poluente que um alimento ou produto de consumo possa ter; no desenvolvimento tecnológico capaz de utilizar técnicas ambientais mais severas; etc. (QUINA, 2004).

Ainda de acordo com Quina (2004), mediante a tantas perspectivas da nanotecnologia em preservação do meio ambiente, não se deve deixar de lado os seus impactos negativos ao meio ambiente. Da mesma forma que as nanopartículas se tornam tão interessantes, elas também podem ser prejudiciais quando inseridas no meio ambiente. São encontradas dificuldades de remover as nanopartículas do solo e da água, através de técnicas usuais de filtração, devido ao seu tamanho. Isso também possibilita as nanopartículas a penetrarem e acumularem-se, com facilidade, sobre células vivas. Os nanomateriais com grande área superficial, que contaminam o ambiente e possuem alta resistência mecânica, além de atividade catalítica, podem ocasionar uma possível acumulação de compostos tóxicos na superfície das nanopartículas, deslocando-se, em seguida, para o meio ambiente ou acumulando-se ao decorrer da cadeia alimentar. Isso pode gerar interferência nos processos biológicos, através da adsorção das biomoléculas, aumentando sua permanência no meio ambiente e, também, causando processos indesejáveis de catálises químicas no meio ambiente. Sendo assim, nos cabe avaliar sempre as tecnologias a serem desenvolvidas em laboratórios, verificando o seu grau de risco, buscando possíveis soluções que venham eliminar ou minimizar os danos ao meio ambiente ou a saúde (QUINA, 2004).

## **CAPÍTULO 5**

### **O PRODUTO EDUCACIONAL**

#### ***5.1 Introdução***

Desde o início do isolamento provocado pela pandemia do novo Coronavírus, diversas modificações ocorreram em vários aspectos de nossas vidas. Quando nos referimos à questão da educação, tivemos uma permuta que foi do ensino presencial para o ensino remoto. Com base nisso, este material, foi elaborado na forma de uma sequência didática, que pode ser aplicado tanto no ensino presencial, quanto no ensino remoto. Ele apresenta aspectos da Física Moderna e Contemporânea através da Nanotecnologia e Nanociência, voltados para o 3º ano do Ensino Médio e foi preparado de acordo com as seguintes metodologias de ensino: a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e a teoria da sala de aula invertida, que é uma metodologia ativa que se encaixa muito bem no ensino remoto. Deste modo, todo o trabalho foi desenvolvido considerando o conhecimento prévio dos alunos como principal fator que influencia o processo de aprendizagem. A sequência didática, aqui apresentada, é dividida em 14 tempos, sendo que cada etapa deve ser aplicada em aulas de cinquenta minutos. A fundamentação teórica necessária envolve o estudo de átomos; moléculas; estruturas cristalinas; novos materiais; e, por fim, os nanomateriais. Parte desse conteúdo os alunos já estudaram nos anos anteriores do nível médio, principalmente em Química. Para que os alunos possam ter ideia de o que é um nanomaterial, é importante lembrar de alguns conceitos, como notação científica, ordem de grandezas e escalas de medidas e orientar para que eles façam algumas medidas de materiais pequenos, como a medida da espessura de uma folha de papel; de uma trilha de gravação de um disco de vinil; e de um filme de óleo sobre a água. Desta forma, poderão ter uma noção melhor sobre nanomateriais. O uso de alguns programas de computadores, videoaulas, textos, experimentos, etc., podem, também, contribuir para o aprendizado. Este produto educacional é parte integrante do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Sociedade Brasileira de Física, no polo da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. O objetivo principal desta sequência didática é apresentar uma proposta de inserção de aspectos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

## ***5.2 Objetivo geral***

- Elaborar um produto focado no tema nanotecnologia e nanociência, em especial na relação produção-aplicabilidade de nanopartículas, e a sua importância voltada para a aplicação tecnológica e análise de suas possíveis contribuições no processo de ensino-aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física.

## ***5.3 Objetivos específicos***

- Elaborar um recurso educacional sobre nanociências e nanotecnologia, com foco na produção-aplicabilidade de nanopartículas;
- Identificar aspectos relativos à aprendizagem dos estudantes sobre um tópico de Física Moderna e Contemporânea, a partir da intervenção proposta com base no material desenvolvido;
- Expor as possibilidades de contribuição da intervenção para o processo ensino-aprendizagem de alunos do Ensino de Física em manual do professor disponibilizado como parte do recurso educacional aberto.

## ***5.4 Fundamentação teórica***

Qualquer material é composto por átomos. Os átomos se juntam para formar as moléculas. As ligações atômicas podem ser de muitos tipos, o que dá, então, origem às mais variadas moléculas, umas com poucos átomos e outras com grande quantidade deles. As moléculas também formam conjuntos, com ligações que podem ser, também, muito diferentes umas das outras, dando origem aos mais variados materiais. Conforme o tipo de ligação química e da temperatura, os materiais podem ser sólidos, líquidos, gasosos.

São muito conhecidos os tipos de materiais sólidos, cristalinos e amorfos. Os materiais cristalinos podem ser monocristalinos ou policristalinos. Uma grande mudança nas ciências e na tecnologia vem ocorrendo com a criação de novos materiais. Mais recentemente, uma nova forma de material surgiu, com estruturas diferentes das até então conhecidas, com novas propriedades e aplicações, o que deu origem a uma verdadeira revolução científica. A grande vantagem desses materiais, além do seu tamanho, lógico, é a potencialização das suas propriedades físicas e químicas, o que proporciona grande interesse e uma gama de

possibilidades de aplicações. Dentre elas, podemos citar, a nanobiotecnologia; os nanofármacos; a nanoeletrônica; a gravação e leitura magnética.

### **5.5 Metodologia**

O trabalho será desenvolvido com a elaboração de uma sequência didática baseada em conceitos de nanociência e com enfoque no estudo dos nanomateriais. Após cada questionário respondido e cada atividade realizada, o professor deverá explicar, aos alunos, todo o conteúdo envolvido. Filmes, vídeos e programas de computadores podem ser utilizados para um melhor aprendizado. Aqui foram usados os seguintes programas: Phet Simulações Interativas e Brownian Motion. Esses programas podem ser baixados nos seguintes links:

- [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/states-of-matter-basics](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics) (Phet Simulações)
- [http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/brownian\\_motion.html](http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/brownian_motion.html) (Brownian Motion)

---

## **O PRODUTO EDUCACIONAL**

### **MATERIAL DO PROFESSOR**

#### **1ª AULA**

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

### **5.6 Problematização**

**Objetivo Geral:** Essa atividade tem o objetivo de chamar a atenção dos alunos para a existência de uma tecnologia que está voltada para o estudo e manipulação de objetos em escalas de ordem nanométrica.

**Sequência Didática:** O professor apresentará uma problematização para os alunos, com uma pergunta que visa verificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca da evolução tecnológica do tamanho dos objetos.

### 5.6.1 Situação-problema

Temos visto que os materiais, que utilizamos com o passar do tempo, sofreram diversas modificações em suas dimensões, ou seja, os materiais estão se tornando cada vez menores, mais compactos, e com mais eficiência. Essa evolução dos materiais só foi possível devido ao surgimento de novas tecnologias, capazes de manusear a estrutura atômica e molecular da matéria. Com essa tecnologia, é possível reduzir esses materiais até atingir a escala da ordem “Nano”.

Figura 1 a. Representação de um objeto nanométrico



Fonte: (GONÇALVES, 2017)

Pergunta-se: você já ouviu falar na palavra Nano? Em caso afirmativo justifique.

R.: *Em caso de “Sim”. Justificativa: O prefixo NANO tem origem na palavra grega, nanos, que significa “anão”, e que representa a bilionésima parte de qualquer unidade de medida denotado por um fator  $10^{-9}$ .*

### 5.7 Revisão sobre notação científica e ordem de grandeza

**Objetivo Geral:** Fazer uma breve revisão sobre os conteúdos de notação científica e ordem de grandeza. Esses conteúdos são essenciais na obtenção do conhecimento do tema central deste produto educacional, que é a Nanotecnologia e Nanociência.

**Procedimento Didático:** O professor fará uma revisão sobre “Notação Científica e Ordem de Grandeza”, pois são conceitos que os alunos devem possuir para ter a compreensão

de medidas muito pequenas ou muito grandes, e para que possam ser capazes de fazer estimativas dessas medidas.

### 5.7.1 Notação científica

Para Bagnato & Muniz (2013), é muito comum expressarmos números que são muito grandes ou muito pequenos em ciência de forma geral. Devido a esse fato, é comum utilizarmos a “notação científica”, para representar os números de forma compacta e a sua ordem de grandeza. Ainda de acordo com Bagnato & Muniz (2013), essa notação tem sua ideia baseada no uso da potência de base 10, em vez de ficar escrevendo todos os algarismos de uma determinada medida. A notação científica é representada da seguinte forma:

$$N \times 10^y$$

São representados pelo “N”, que é a mantissa ou coeficiente, e “y” o expoente ou ordem de grandeza. O valor de N tem que ser maior ou igual a 1 e menor que 10, e o y representa quantas vezes a mantissa N tem que ser multiplicada por 10, para se obter o valor original.

**Obs.:** Quando a vírgula é deslocada para a esquerda, o expoente da base 10 fica positivo ( $10^{+y}$ ); quando a vírgula é deslocada para direita o expoente da base 10 fica negativo. ( $10^{-y}$ ).

Veja os exemplos abaixo:

#### **Exemplo:01**

A velocidade da luz é um número bem grande e, geralmente, é expresso em notação científica, é representado por  $c = 300000,0 \text{ km/h} = 3,0 \times 10^5 \text{ km/h}$  ou  $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

#### **Exemplo:02**

O tamanho do diâmetro de um átomo, que é muito pequeno, e vale  $0,0000000001 \text{ m}$ . Ele é expresso em notação científica da seguinte forma:  $0,0000000001 \text{ m} = 1,0 \times 10^{-10} \text{ m}$ .

**Obs.:** Também pode ser escrito em função dos prefixos do SI, segundo as tabelas 1a e 2a. Seu valor, na forma simplificada, ficaria  $0,1 \text{ nm}$ .

### Exercício complementar

A distância percorrida em 1 ano-luz é de, aproximadamente, 9,5 trilhões de quilômetros.

Experimente escrever esse número sem a notação científica ou os prefixos do SI!

R.:  $9500.000.000.000,0km = 9,5 \times 10^{12}km$

**Tabela 1a. Prefixos do SI (Sistema Internacional de Medidas)**

Fator	Nome	Símbolo	Fator	Nome	Símbolo
$10^1$	Deca	da	$10^{-1}$	Deci	d
$10^2$	Hecto	h	$10^{-2}$	Centi	c
$10^3$	Quilo	k	$10^{-3}$	Mili	m
$10^6$	Mega	M	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^9$	Giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	Terá	T	$10^{-12}$	pico	p
$10^{15}$	Peta	P	$10^{-15}$	femto	f
$10^{18}$	Exa	E	$10^{-18}$	atto	a
$10^{21}$	Zetta	Z	$10^{-21}$	zepto	z
$10^{24}$	Yotta	Y	$10^{-24}$	yocto	y

Fonte: (BAGNATO & MUNIZ, 2013)

**Tabela 2a. Exemplos de prefixos utilizados no SI**

Prefixo	Multiplicador	Símbolo (exemplos)
Pico	$x 10^{-12} = 0,000000000001$	p (pm, ps)
Nano	$x 10^{-9} = 0,000000001$	n (nm, ns)
Micro	$x 10^{-6} = 0,000001$	$\mu$ ( $\mu$ m, $\mu$ s)
Mili	$x 10^{-3} = 0,001$	m (mm, ms)
Centi	$x 10^{-2} = 0,01$	c (cm)
Quilo	$x 10^3 = 1000$	k (km, kg)
Mega	$x 10^6 = 1000000$	M (MHz)
Giga	$x 10^9 = 1000000000$	G (GHz)
Terá	$x 10^{12} = 1000000000000$	T (THz)

Fonte: (BAGNATO & MUNIZ, 2013)

### 5.7.2 Ordem de grandeza

Bagnato & Muniz (2013) nos dizem que a ordem de grandeza (O.G.) significa estimar os valores de medidas, que não podem ser conhecidas com grande precisão. Isso facilita muito quando queremos ter uma noção da magnitude de determinada grandeza, sem se preocupar com os algarismos significativos. Ainda segundo Bagnato & Muniz, “por exemplo, pode ser útil saber se o débito da sua conta no banco é da ordem de centenas, milhares ou milhões de reais! Neste caso, alguns reais a mais ou a menos podem não fazer muita diferença.” (BAGNATO & MUNIZ, 2013, p. 238).

Segundo Bagnato & Muniz (2013), a ordem de grandeza possui as seguintes regras:

1ª Se a ordem de grandeza de um determinado número for menor que a mantissa 3,16, a ordem de grandeza será  $10^y$ .

2ª Se a ordem de grandeza de um determinado número for maior que 3,16, a ordem de grandeza será  $10^{y+1}$ .

O parâmetro para análise na ordem de grandeza vale  $\sqrt{10} \cong 3,16$ , que é o valor da mantissa.

#### Exemplo:03

Determine a ordem de grandeza das medidas a baixo:

- a)  $5,0 \times 10^2 \text{kg}$   $\longrightarrow$  O.G.= $10^3 \text{kg}$
- b)  $3,0 \times 10^2 \text{km}$   $\longrightarrow$  O.G.=  $10^2 \text{km}$
- c)  $2,0 \times 10^{-1} \text{m}$   $\longrightarrow$  O.G.= $10^{-1} \text{m}$
- d)  $8 \times 10^{-3} \text{ dm}$   $\longrightarrow$  O.G.=  $10^{-3+1} = 10^{-2} \text{dm}$

#### Exercício complementar

Determine a ordem de grandeza dos valores abaixo:

- a)  $3,6 \times 10^3 \text{kg} = \text{R.: } 10^4 \text{kg}$
- b)  $1,5 \times 10^{-1} \text{s} = \text{R.: } 10^{-1} \text{s}$
- c)  $2,5 \times 10^2 \text{km} = \text{R.: } 10^2 \text{km}$
- d)  $4,0 \times 10^{-2} \text{m} = \text{R.: } 10^{-1} \text{m}$

## 5.8 Trabalhando com escalas de medidas

**Objetivo Geral:** O objetivo deste tema, consiste em verificar se os alunos são capazes de realizar medidas com aproximações, principalmente com relação as escalas macro, micro e nano, em objetos que fazem parte do seu dia a dia (FAGAN, 2020a).

### ATIVIDADES

#### 5.8.1 Teste de sondagem sobre trabalhando com escalas de medidas

**Procedimento didático:** O professor irá aplicar um teste de sondagem, a fim de verificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca de escalas de medidas.

a) Que instrumentos podemos utilizar para medir a sala de aula?

R.: *Pode ser medido a partir de objetos convencionais, como régua, trena, etc. e objetos não convencionais, como passos, palmos, etc.*

b) É possível medir a espessura de uma folha de caderno? Justifique.

R.: *Sim. Ao pegarmos um caderno, verificamos o seu total de folhas, e medimos a sua espessura com uma régua. Logo após, dividimos a sua espessura pelo número de folhas existentes no caderno. Dessa forma obteremos a espessura de uma folha.*

#### 5.8.2 Calculando a estimativa da espessura de uma folha de papel

**Procedimento didático:** Esta atividade tem o objetivo de fazer com que os alunos consigam descobrir uma maneira de achar a espessura de uma folha de papel. A ideia é que eles consigam achar, aproximadamente, 0,1mm ou 100  $\mu\text{m}$  de espessura da folha. A atividade será realizada por 5 grupos de 4 alunos. Cada grupo receberá uma pacote de 500 folhas e uma régua de 30 cm. Os alunos terão que medir o tamanho da espessura do pacote de folhas, com a régua de 30 cm. Após ter medido a espessura do pacote, terão que dividir o valor da espessura achada pelo número de folhas existentes no pacote. Achando, assim, a espessura de uma folha de papel (SCHULZ, 2007).

### *5.8.3 Calculando a estimativa da largura de uma trilha de gravação de um disco de vinil*

**Procedimento didático:** Neste tema, os alunos terão que buscar meios para encontrar a espessura de uma trilha de uma faixa musical de um disco de vinil. A ideia é que eles consigam achar, aproximadamente, entre 50  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$  de espessura da trilha. Esta atividade seguirá o mesmo padrão de divisão de grupos da atividade anterior. Serão formados 5 grupos compostos por 4 alunos. O procedimento consiste em primeiro lugar em escolher uma faixa musical, e, logo após, medir a faixa com a régua que foi fornecida na atividade anterior. Os alunos deverão verificar o tempo de duração da faixa sonora na capa do disco fornecido. Sabe-se que um disco de vinil tem uma rotação de 33,3 rpm. Uma vez conhecendo a espessura da faixa, a frequência e o tempo de duração, os alunos serão capazes de estimar o número de trilhas existentes em uma faixa. Com base nisso, conseguem calcular a espessura de uma única trilha de gravação do disco (SCHULZ, 2007).

---

## **2ª AULA**

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

### *5.9 Introdução aos conceitos de átomos e moléculas*

**Objetivo Geral:** O objetivo deste tema é abordar com os alunos os conceitos de átomos e moléculas.

## **ATIVIDADES**

### *5.9.1 Teste de sondagem sobre introdução aos conceitos de átomos e moléculas*

**Procedimento didático:** O professor irá aplicar um teste de sondagem, para saber se os alunos possuem conhecimentos prévios sobre átomos e moléculas.

1. O que é matéria?

R.: *É tudo que tem massa e ocupa lugar no espaço.*

2. Do que são feitas todas as coisas? Justifique.

R.: *De átomos e moléculas.*

3. Quem é maior o átomo ou a molécula? Justifique.

R.: *A molécula é maior que o átomo, pois as moléculas são compostas pelos átomos.*

4. De que é feito o grafite? E o diamante? Por que eles são tão diferentes?

R.: *O grafite e o diamante são substâncias simples compostas apenas por átomos de carbono. A diferença entre eles está na forma geométrica em que os átomos de carbono estão ligados entre si.*

#### *5.9.2 Utilização do programa Phet simulações interativas estados da matéria: básico*

**Procedimento didático:** Nesta atividade será utilizado o programa Phet Simulações Interativas Estados da Matéria: Básico, pois, o mesmo, serve como uma ferramenta tecnológica, que auxilia, didaticamente o professor, na introdução dos conceitos de átomos e moléculas. O professor deve baixar o Phet Simulações Interativas em seu computador e projetar a imagem do computador em uma tela, utilizando um datashow, para que ele possa demonstrar o funcionamento do programa aos alunos.

#### *5.9.3 Realizando o experimento do movimento Browniano*

**Procedimento didático:** Nesta atividade, o professor deve realizar o experimento do movimento Browniano. Deverão ser utilizados os seguintes materiais: água, leite e um fio de cabelo. Mistura-se 30 ml de água com duas gotas de leite em um recipiente. Então pega-se o fio de cabelo e o coloca em forma de um círculo sobre a lâmina. Logo após, deve-se pingar uma gota da mistura de leite com água dentro do círculo de cabelo. Em seguida, os alunos devem começar a fazer observações do movimento das moléculas do leite imersas na camada de água, através de um microscópio (UMSNH, 2018).

**Obs.:** Caso não consiga reproduzir com êxito o experimento do movimento Browniano, o professor pode baixar o programa Brownian Motion, para demonstrar como seria o movimento das moléculas.

---

### **3ª AULA**

**Duração da aula:** 4 tempos de 50 minutos.

**OBS.:** Caro Professor, a 3ª aula será dividida em 2 partes. Sendo que cada parte tem uma duração de 2 tempos de 50min.

#### ***5.10 Nanotecnologia e Nanociência uma inovação científica***

**Objetivo Geral:** Este tema tem como objetivo apresentar aos alunos a definição de Nanociência e Nanotecnologia, através de texto complementar em anexo, e filmes de ficção científica.

### **ATIVIDADES**

#### **PARTE 1 - (2Tempos de 50 min)**

##### ***5.10.1 Teste de sondagem sobre Nanotecnologia e Nanociência e análise de texto complementar***

**Procedimento didático:** Primeiramente, o professor irá aplicar um teste de sondagem, a fim de verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre Nanotecnologia e Nanociência. Após o teste de sondagem, os alunos receberão um texto complementar sobre Nanotecnologia e Nanociência, que será lido e analisado em sala de aula junto ao professor.

1. Descreva, com suas palavras, o que você entende por Nanotecnologia e Nanociência?

**R.:** *Nanociência é o estudo dos fenômenos e manipulação dos materiais em escala atômica ou molecular. Já a Nanotecnologia é a tecnologia empregada no manuseio de matéria na*

*escala nano, com o objetivo de produzir novas estruturas, materiais e dispositivos e suas aplicações.*

2. Você conhece alguma aplicação de nanotecnologia? Em caso afirmativo, a descreva.

*R.: Caso a resposta seja Sim: Os Processadores eletrônicos que podem ter o tamanho de 45nm. Esses dispositivos conseguem trabalhar em altíssimas velocidades de processamento, e também possuem um alto poder de armazenamento.*

## **PARTE 2 – (2 Tempos de 50 min)**

### *5.10.2 Nanotecnologia e nanociência: uma inovação tecnológica inserida através de filmes de ficção científica*

**Procedimento Didático:** O professor irá passar em sala de aula, o filme de ficção científica “Homem-Formiga” para os alunos assistirem. O objetivo é que os alunos possam, através do filme, relacionar a Nanotecnologia e Nanociência com a inovação tecnológica proposta pelo filme. O filme “Homem-Formiga” (2015), com uma duração de 1h e 57min é interpretado e dirigido por Peyton Reed. Esse filme conta a história de Scott (interpretado por Paul Rudd) que, embora no passado tenha recorrido à prática de assaltos para sustentar sua família, é, essencialmente, um homem bom. Após sair da prisão, ele tem o objetivo de se tornar um excelente pai para sua filha Cassie. Ainda que não tenha características de um herói tradicional, seu amplo conhecimento em tecnologia, sua capacidade física e sua personalidade, tornam Scott um excelente candidato para utilizar a incrível roupa do Homem-Formiga. Então, ele aceita realizar uma missão para o Doutor Hank Pym, que é roubar a roupa do Jaqueta Amarela, uma arma que possui o poder de destruir a humanidade.

**Obs.:** O professor pode usar um DVD ou baixar o filme “Homem-Formiga” através do programa µTorrent. Segue o link: <https://utorrent.br.uptodown.com/windows>. Após baixar o programa µTorrent, o professor deve instalar o programa, e, logo em seguida, baixar o arquivo do filme através do seguinte link: <https://www.torrentdosfilmes.tv/homem-formiga-torrent-bluray-720p1080p-dual-audio-2015-dublado-download/>.

### 5.10.3 Teste de sondagem - filme Homem-Formiga

**Procedimento didático:** Ao término do filme, o professor irá aplicar um teste de sondagem, com o objetivo de verificar se os alunos são capazes de fazer algum tipo relação da Nanotecnologia e Nanociência, através da inovação tecnológica proposta pelo filme.

1. Daria para estimar a ordem de grandeza do tamanho do Homem-Formiga em sua primeira miniaturização? Em caso afirmativo, justifique sua resposta.

R.: *Sim. Por volta de  $0,005\text{ m} = 5,0 \times 10^{-3}\text{ m} = 10^{-2}\text{m}$ .*

2. Na cena final do filme, O Homem-Formiga diz que só conseguiria entrar na roupa do vilão jaqueta amarela, encolhendo em nível molecular. Pergunta-se: o que significa encolher em nível molecular?

R.: *Significa encolher na ordem de grandeza de uma molécula, ou seja, estar entre  $10^{-9}\text{m}$  e  $10^{-10}\text{m}$ .*

**Obs.:** Caso o Professor ache necessário passar outros filmes de ficção científica, que venham a estimular o interesse dos alunos pela inovação científica e que possam ser analisados em sala de aula, seguem aqui algumas sugestões: “Viagem insólita” (1987), “Querida encolhi as crianças” (1990), “Homem-Formiga e Vespa” (2018).

---

## 4ª AULA

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

### 5.11 Alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho

**Objetivo Geral:** Este tema tem o objetivo de verificar que, quanto menor for o tamanho do material, mais importantes ficam os efeitos de superfície, promovidos pelo aumento da relação entre sua área e seu volume.

## ATIVIDADES

### 5.11.1 Teste de sondagem sobre alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho

**Procedimento didático:** Nesta atividade, o professor irá buscar, através de um teste de sondagem, os conhecimentos prévios dos alunos sobre a alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho.

1. Em quantas vezes podemos dividir um pedaço de giz e os pedacinhos menores continuarem a ser giz?

R.: *Ele tem que ser dividido até atingir o tamanho de uma molécula.*

2. O que muda quando diminuimos o tamanho do giz?

R.: *O que ocorre, é que à medida que o giz vai diminuindo, mais importantes se tornam os efeitos de superfície, pelo aumento da proporção entre sua área e seu volume.*

3. O que acontece quando tentamos dissolver em água um comprimido de Sonrisal inteiro e outro triturado? Justifique sua resposta.

R.: *O Sonrisal triturado dissolve mais rápido que o inteiro devido ao aumento da superfície de contato que aumenta a velocidade de reação.*

### 5.11.2 A variação da razão área/volume de um material: experimento com grãos de café

**Procedimento didático:** Nesta atividade, o professor irá realizar um experimento que evidencia a importância do tamanho de um material, pois, em muitos materiais, só aparecem determinadas evidências quando estão em escalas menores, como é o caso do café. Serão utilizados os seguintes materiais: um fogão, um coador, um filtro de café, um bule e dois tipos de café, um triturado e outro em grãos. Em seguida, deve-se pegar um pouco de água com o bule e colocar para ferver no fogão. Logo após, colocar o coador, já com o filtro e café com grãos triturados, no bule. Ao adicionar água fervida no coador, será visualizado o café sair na cor preta pelo coador. Depois, será feito o mesmo procedimento, só que com o café em grãos.

Já nessa situação, o café já sai pelo coador com uma cor bem mais clara em relação ao procedimento anterior. Essa diferença de tonalidades de cor está relacionada com a variação da área superficial do material (FAGAN, 2020a).

### 5.11.3 A variação da razão área/volume de um material: experimento geométrico

**Procedimento didático:** Nesta atividade, o professor irá propor aos alunos que realizem o cálculo de razão entre a área e o volume de um cubo de 1cm de aresta, em contato com o ar. Em seguida, eles devem pegar o cubo e dividir em pedaços menores, com aresta de 0,1 cm, isso fornece um total de 1000 cubos desse mesmo tamanho. E, novamente, devem calcular a razão área/volume. Agora eles devem pegar o cubo, só que dessa vez devem dividir em partes menores, com aresta de 0,01 cm, isso fornece um total de  $10^6$  cubos de mesmo tamanho. E, por fim, devem calcular a razão área/volume. Assim, os alunos verificaram que, à medida que diminuimos o lado do cubo em partes cada vez menores, a área superficial é aumentada mesmo mantendo o volume total constante (SCHULZ, 2007).

**Dados:** O volume do cubo ( $V_C$ ) e a área superficial do cubo ( $S_C$ ) são dados pelas seguintes expressões  $V_C = L^3$  e  $S_C = 6L^2$ .

### 5.11.4 A variação da razão área/volume de um material: acelerando as reações químicas

**Procedimento Didático:** Nesta atividade, o professor irá realizar um experimento capaz de demonstrar como a variação da razão área/volume ocasionam mudanças das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho. Essa atividade consiste em pegar uma bateria, de 9v, e uma palha de aço. Ao encostar a palha de aço nos polos da bateria, percebe-se que a corrente elétrica aquece os fios da palha de aço, ao ponto de pegar fogo. Mesmo depois de tirar a palha de aço dos polos da bateria, ela continua pegando fogo. Devido aos fios serem muito finos, isso resulta em uma quantidade de átomos de ferro em contato com o oxigênio presente no ar grande o suficiente para ocasionar a combustão (SCHULZ, 2007).

---

## 5ª AULA

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

### 5.12 Experimentos que ilustram situações de nanomateriais

**Objetivo geral:** Este tema, tem o objetivo de realizar experimentos capazes de representar situações de nanomateriais.

## ATIVIDADES

### *5.12.1 Calculando a espessura de um filme fino de óleo sobre a água*

Benjamin Franklin, por volta de 1757, observou que dois barcos, que faziam parte da frota, permaneciam parados, enquanto os outros se moviam com o vento. Ao verificar o motivo desse fenômeno, o capitão falou para ele que, possivelmente, os cozinheiros do barco tinham jogado óleo ao lado do barco. Indagando mais a respeito, ficou sabendo que habitantes das ilhas do pacífico jogavam óleo no mar para evitar que o vento agitasse a água, impedindo, assim, a pescaria. No ano de 1774, Benjamin tentou reproduzir esse evento, ele pegou uma colher de 4 ml de óleo, e jogou em um lago. O mais interessante foi que o óleo se espalhou por uma superfície de 2000 m<sup>2</sup>, formando uma película bem fina sobre a superfície da água. Embora Franklin não tivesse essa intenção, esse experimento nos dá a capacidade de calcular com uma boa aproximação o tamanho dessas moléculas. Para isso, basta supor que o óleo se espalhe a tal ponto que se forme uma película de espessura na superfície. Ele conseguiu obter, em seu experimento, uma espessura de 2 nm (INEP, 2016).

**Procedimento didático:** Nesta atividade, o professor irá reproduzir, de forma aproximada, o experimento de Benjamin Franklin, com o intuito de obter a espessura de um filme fino de óleo, de aproximadamente 10 nm. Serão utilizados os seguintes materiais: uma bacia, água, óleo de cozinha, talco, um alfinete fino, uma folha milimetrada e uma régua. Coloca-se água dentro da bacia, e espera até que não tenha nenhuma ondulação na superfície. Logo em seguida, coloca-se talco na superfície da água, mergulha-se o alfinete fino no óleo e ao retirá-lo, pequenas gotas de óleo deslizam pelo alfinete e caem. Então, com o auxílio do alfinete fino, deve-se pingar uma dessas gotas, que tem aproximadamente o diâmetro de 1mm, no centro da bacia com água. Observa-se, então, que a gota de óleo vai se espalhando ao longo da superfície da água, formando um filme fino com a espessura de uma única molécula de óleo, que só pode ser visto a partir do deslocamento das partículas do talco. Essa espessura do filme fino de óleo sobre a água é verificado por uma comparação de volumes. O volume da gota de óleo é igual ao volume da mancha de óleo na superfície da água. A estimativa da espessura da

mancha de óleo é dado pelo razão entre o volume da gota saindo do conta-gotas pela área da mancha do talco deslocado (SCHULZ, 2007).

#### *5.12.2 Auto-arranjos: estratégia bottom-up*

**Procedimento didático:** Nesta atividade, o professor irá realizar um experimento que serve como modelo de simulação do auto-arranjo em nanoescala. Nessa atividade serão utilizados os seguintes materiais: uma bacia contendo água e um jogo de blocos de plástico. Os alunos deverão colocar os blocos na superfície da água de forma espalhada e, depois de um certo tempo, verificarão que os blocos estão todos juntos, ocasionando o auto-arranjo. Isso ocorre devido à diminuição das tensões superficiais, provenientes da reorganização dos blocos. Esse experimento pode ser feito com blocos de Lego ou similares (SCHULZ, 2007).

---

### **6ª AULA**

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

#### ***5.13 Apresentação de vídeos sobre os nanomateriais à base de carbono na indústria, potenciais aplicações da nanotecnologia e seus impactos na saúde e meio ambiente***

**Objetivo geral:** Apresentar aos alunos, através de vídeos, os nanomateriais à base de carbono como: o fulereno, os nanotubos de carbono e o grafeno. Também serão apresentadas as aplicações da Nanotecnologia no setor industrial, e, por fim, os seus possíveis impactos à saúde e ao meio ambiente.

##### *5.13.1 Vídeos apresentados*

**OBS.:** Após a apresentação dos vídeos, o professor abrirá um espaço para um bate-papo sobre os vídeos apresentados.

### 5.13.2 Os nanomateriais a base de carbono na indústria

**Procedimento didático:** O professor deverá apresentar, em sala de aula, um vídeo com duração de 6 min, para os alunos sobre os nanomateriais à base de carbono, e de suas aplicações na indústria.

Vídeo - Os Incríveis Nanomateriais à base de carbono (INCT, 2019).

Link do vídeo: [https://www.youtube.com/watch?v=bnOoG\\_QJZQU](https://www.youtube.com/watch?v=bnOoG_QJZQU)

### 5.13.3 Potenciais aplicações da nanotecnologia

**Procedimento didático:** O professor irá apresentar, em sala de aula, um vídeo com uma duração de 10 min e 8 s, sobre potenciais aplicações da Nanotecnologia.

Vídeo - Nanotecnologia (FACAMP, 2014).

Link do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=wt8lX7wPy4o>

### 5.13.4 Impactos na saúde e no meio ambiente através da nanotecnologia

**Procedimento didático:** O professor apresentará um vídeo, com uma duração total de 22 min e 6 s, que tem como objetivo apresentar aos alunos os impactos negativos da Nanotecnologia, à saúde e ao meio ambiente.

Vídeo - Impactos da nanotecnologia na saúde e no meio ambiente (RIBEIRO, 2011).

Link do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=jnwIK5o5AD8>

---

## CAPÍTULO 6

### APLICANDO O PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional foi aplicado pelo Professor Eduardo Pinheiro Correia, no Colégio Estadual Francesca Carey, na turma 3001 do 3º ano do ensino médio, no ano de 2019, composta por um total de 20 alunos. Endereço: Praça Nuno Duarte, S/N – Bairro: São José - Município: Itaboraí – CEP: 248526-42.

#### 6.1 Cronograma de aplicação do produto educacional

<b>Datas</b>	<b>Temas</b>	<b>Atividades</b>
23/10/19 1ª Aula	<ul style="list-style-type: none"><li>• Problematização</li><li>• Notação científica</li><li>• Ordem de Grandeza</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Situação-problema (Pergunta)</li><li>✓ Revisão sobre Notação Científica</li><li>✓ Revisão sobre Ordem de Grandeza</li><li>✓ Duração da aula: 1 tempo de 50 min.</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Escalas de medidas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Teste de sondagem sobre escalas de medidas</li><li>✓ Calculando a estimativa da espessura de uma folha de papel</li><li>✓ Calculando a estimativa da largura de uma trilha de gravação de um disco de vinil</li><li>✓ Duração da aula: 1 tempo de 50 min.</li></ul>
30/10/19 2ª Aula	<ul style="list-style-type: none"><li>• Átomos e Moléculas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Teste de sondagem sobre átomos e moléculas</li><li>✓ Utilização do programa Phet Simulações Interativas Estados da Matéria: Básico</li><li>✓ O Movimento Browniano</li><li>✓ Duração da aula: 2 tempos de 50 min.</li></ul>
06/11/19 3ª Aula	<ul style="list-style-type: none"><li>• Introdução à Nanotecnologia e Nanociência (parte 1)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Teste de sondagem sobre Nanotecnologia e Nanociência</li><li>✓ Análise de texto complementar</li><li>✓ Duração da aula: 2 tempos de 50 min.</li></ul>
13/11/19 3ª aula	<ul style="list-style-type: none"><li>• Introdução à Nanotecnologia e Nanociência (Parte 2)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Nanotecnologia e Nanociência uma inovação tecnológica inserida através de filmes de ficção científica</li><li>✓ Teste de sondagem do filme Homem-Formiga</li><li>✓ Duração da aula: 2 tempos de 50 min</li></ul>

27/11/19 4ª Aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Teste de sondagem sobre alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho</li> <li>✓ A variação da razão área/volume de um material: experimento com grãos de café</li> <li>✓ A variação da razão área/volume de um material: experimento geométrico</li> <li>✓ A variação da razão área/volume de um material: acelerando as reações químicas</li> <li>✓ Duração da aula: 2 tempos de 50 min.</li> </ul>
04/12/19 5ª Aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimentos de situações de nanomateriais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Calculando a espessura de um filme fino de óleo sobre a água;</li> <li>✓ Auto-arranjos: estratégia bottom-up</li> <li>✓ Duração da aula: 2 tempos de 50 min.</li> </ul>
11/12/19 6ª aula	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação de vídeos sobre: os nanomateriais à base de carbono na indústria, potenciais aplicações da nanotecnologia e seus impactos na saúde e meio ambiente.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u>Vídeos apresentados</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Os Incríveis Nanomateriais à base de carbono</li> <li>✓ Nanotecnologia</li> <li>✓ Impactos na saúde e no meio ambiente através da nanotecnologia.</li> <li>✓ Duração da aula: 2 tempos de 50 min.</li> </ul>

---

## 1ª AULA

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

### **6.2 Situação-problema**

O início da aula se deu a partir de uma problematização, onde, logo em seguida, foi lançada a seguinte pergunta aos alunos: Você já ouviu falar na palavra Nano? Em caso afirmativo justifique.

**Figura 2 a. Aluna respondendo às perguntas da problematização**



**Fonte: Própria**

Colocarei aqui algumas das respostas dos alunos:

Resposta 1: *Sim. Nano significa diminuir os objetos como os chips, para mini-chips, em uma escala de diminuição.*

Resposta 2: *Sim. A palavra nano pode ser explicado pelo fato de algo ser pequeno.*

Resposta 3: *Sim. Nano significa algo muito pequeno.*

Resposta 4: *Não. Mas pela imagem deve ter relação com o tamanho das coisas pequenas.*

**Obs.:** Após a aplicação do teste de sondagem, o professor realizou a correção colocando as respostas no quadro. Logo em seguida, ele explicava todo o conteúdo. Dessa forma, os alunos podiam verificar se suas repostas estavam corretas, e tirar suas dúvidas.

### ***6.3 Revisão sobre notação científica e ordem de grandeza***

Aqui o professor realizou, uma breve revisão sobre “Notação Científica e Ordem de Grandeza”, pois esses conteúdos são essenciais na obtenção do conhecimento do tema central desse produto educacional, que é a Nanotecnologia e Nanociência.

## 6.4 Trabalhando com escalas de medidas

### 6.4.1 Teste de sondagem sobre escalas de medidas

Colocarei, aqui, algumas das respostas dos alunos:

a) Que instrumentos podemos utilizar para medir a sala de aula?

Resposta 1: *Trena, metro, pedaço de madeira.*

Resposta 2: *Uma trena, metro, passos, régua, palmo, pisos dentre outros.*

b) É possível medir a espessura de uma folha de caderno? Justifique.

Resposta 3: *Sim. Com uma régua podemos medir.*

Resposta 4: *Sim. Pois existem ferramentas capazes de medir.*

**Obs.:** Após a aplicação do teste, o professor colocava as respostas no quadro, e, logo em seguida, ele explicava todo o conteúdo. Dessa forma, os alunos podiam verificar se suas repostas estavam corretas, e tirar suas dúvidas.

### 6.4.2 Calculando a estimativa da espessura de uma folha de papel

Nessa atividade, os alunos teriam que buscar um jeito de calcular a medida da espessura de uma folha de papel, que é de, aproximadamente, 0,1mm ou 100  $\mu\text{m}$ . Essa atividade foi realizada da seguinte forma: foram criados 5 grupos, composto por 4 alunos. Cada grupo recebeu um pacote de 500 folhas e uma régua de 30cm. Foi dado para os alunos um tempo para que eles conseguissem, através de alguma forma, fazer a medição da espessura da folha. Alguns grupos conseguiram realizar o experimento com maior facilidade, e outros já tiveram dificuldades. Mas, mesmo assim, todos conseguiram atingir o objetivo proposto pela atividade.

Figura 3 a. Alunos realizando as atividades do produto educacional



Fonte: Própria

Figura 4 a. Medindo a espessura do pacote de folhas



Fonte: Própria

Figura 5 a. O cálculo da espessura de uma folha de papel realizado pelos alunos

$$\begin{array}{l}
 \text{Folhas: } 500 \\
 \text{Espessura: } 5 \text{ cm}
 \end{array}
 \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Régua de três} \\
 500 \text{ — } 5 \text{ cm} \\
 1 \quad \quad X
 \end{array} \right.
 \begin{array}{l}
 500 X = 5 \text{ cm} \\
 X = \frac{5}{500} \text{ cm} \\
 X = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^2}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 X = 1 \times 10^{-4} \text{ m} \\
 X = 100 \mu\text{m}
 \end{array}$$

Fonte: Própria

#### 6.4.3 Calculando a estimativa da largura de uma trilha de gravação de um disco de vinil

Nessa atividade, os alunos, também, tiveram que buscar meios para encontrar a espessura de uma trilha de uma faixa musical de um disco de vinil. A ideia é que eles consigam achar, aproximadamente, entre  $50\ \mu\text{m}$  e  $100\ \mu\text{m}$  de espessura da trilha. Essa atividade seguiu o mesmo padrão de divisão de grupos da atividade anterior. Foram formados 5 grupos compostos por 4 alunos. Para realizar tal atividade, foram fornecidos, aos grupos, uma régua de 30cm, um disco de vinil com a capa, onde continha o tempo de cada faixa sonora, e, também, foi fornecida a informação de que um disco de vinil tem uma rotação de aproximadamente 33,3 rpm. Uma vez conhecendo a espessura, o tempo de duração da faixa e a frequência do disco, os alunos seriam capazes de achar o número de trilhas existentes em uma faixa e determinar a espessura de uma trilha. Mas não foi o que aconteceu inicialmente. O grau de dificuldade encontrado pelos alunos foi bem maior que no experimento anterior. Aqui, também, foi dado um tempo para que os alunos realizassem a atividade. Todos os grupos tiveram muitas dificuldades nessa atividade. Tendo em vista que eles não estavam conseguindo achar uma forma de medir a espessura da trilha sonora, mesmo com as informações fornecidas a eles, resolvi, então, ajudá-los nos procedimentos da atividade. Após a devida orientação fornecida aos alunos, eles conseguiram entender e realizar a atividade.

**Figura 6 a. Realizando a medida de uma faixa sonora de um disco de vinil**



**Fonte: Própria**

Figura 7 a. O cálculo da espessura de uma trilha sonora realizado pelos de alunos

$$\begin{array}{l}
 f = 33,3 \text{ rpm} \\
 \text{tempo de música} = 3 \text{ min} \\
 33,3 \text{ Voltas} \text{ --- } 1 \text{ min} \\
 1 \text{ volta} \text{ --- } X \\
 X = \frac{1}{33,3} = 0,03 \text{ min} \\
 \hline
 \boxed{Y = 100 \mu\text{m}}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{espessura da faixa} = 1 \text{ cm} \\
 Y = \text{espessura da trilha} \\
 Y \text{ --- } 0,03 \text{ min} \\
 1 \text{ cm} \text{ --- } 3 \text{ min} \\
 Y = \frac{0,03}{3} = 0,01 \text{ cm} \\
 Y = 0,0001 \text{ m} = 100 \mu\text{m}
 \end{array}$$

Fonte: Própria

## 2ª AULA

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

### 6.5 Introdução aos conceitos de átomos e moléculas

#### ATIVIDADES

##### 6.5.1 Teste de sondagem sobre átomos e moléculas

Colocarei, aqui, algumas das respostas dos alunos:

1. O que é matéria?

Resposta 1: *É tudo que tem átomos e moléculas*

Resposta 2: *A matéria é feita de pequenas partículas chamadas átomos.*

Resposta 3: *É tudo que tem massa e ocupa lugar no espaço.*

Resposta 4: *É tudo que está no espaço*

2. Do que são feitas todas as coisas? Justifique.

Resposta 1: *Matéria, porque temos átomos e moléculas importantes no nosso corpo.*

Resposta 2: *Células, moléculas, tecidos musculares, massa muscular e água.*

Resposta 3: *Nós somos feitos de matéria, porque a matéria compõe tudo.*

Resposta 4: *De matéria, carbono, nitrogênio e hidrogênio.*

3. Quem é maior o átomo ou a molécula? Justifique.

Resposta 1: *A molécula é maior que o átomo. Pois o átomo está dentro da molécula.*

Resposta 2: *A molécula é maior que o átomo. A molécula é composta por átomos.*

Resposta 3: *A molécula é maior que o átomo. Dentro das moléculas existem prótons, nêutrons e elétrons que fazem parte do átomo.*

Resposta 4: *A molécula é maior que o átomo. Pois os átomos estão presentes em todas as moléculas.*

4. De que é feito o grafite? E o diamante? Por que eles são tão diferentes?

Resposta 1: *Os dois são formados pelos mesmos átomos. A forma como os átomos de carbono se arranjam é que faz com que eles sejam tão diferentes.*

Resposta 2: *O grafite é feito por carbono. Já o diamante é um material mais complexo, mas bruto. São diferentes pela maneira que é feito.*

Resposta 3: *Grafite é um carbono puro, e o diamante vem do carvão. A diferença é que o diamante é mais duro, e o grafite é um dos mais suaves.*

Resposta 4: *É feito de moléculas de carbono e são compostos por elementos diferentes. O que diferencia é a sua estrutura molecular.*

**Obs.:** Após a aplicação do teste, o professor colocava as respostas no quadro, e, logo em seguida, ele explicava o conteúdo. Dessa forma, os alunos podiam verificar se suas repostas estavam corretas, e tirar suas dúvidas.

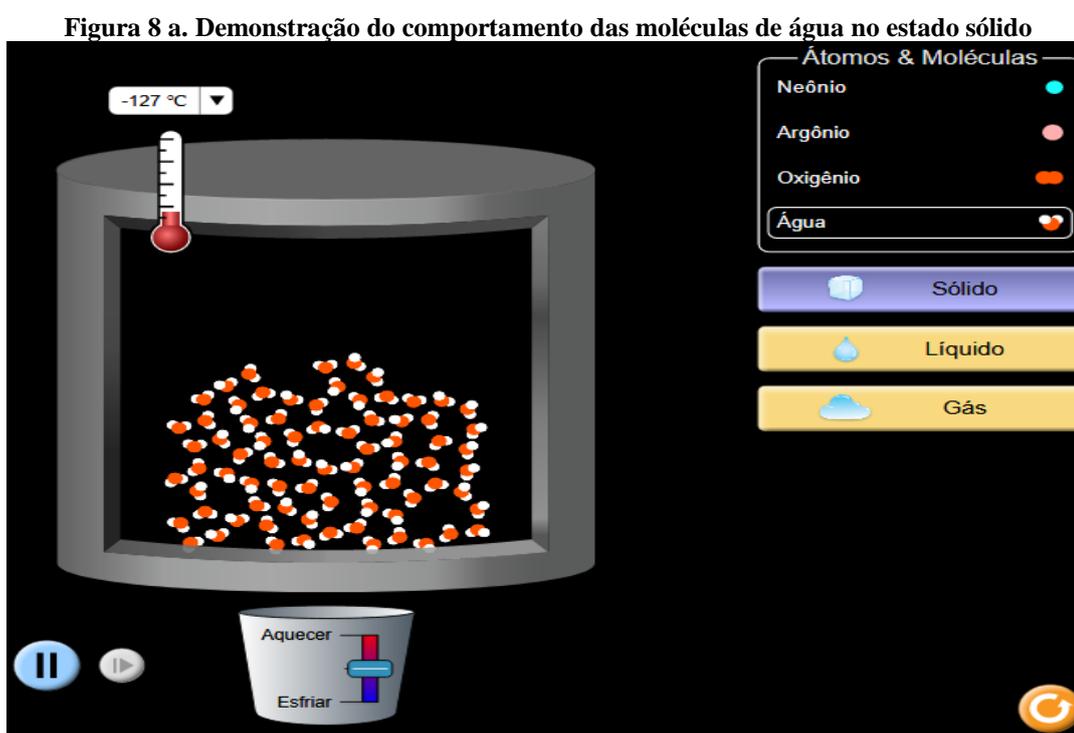
#### 6.5.2 Utilização do programa PHET estados da matéria: básico

A natureza é formada por materiais muito diferentes entre si. Todos estes materiais que nos rodeiam, como, por exemplo, animais, pedras e o ar, constituem o que chamamos de matéria. Toda matéria é constituída de pequenas partes, denominadas moléculas e átomos. De acordo com o seu grau de agitação, essas moléculas podem estar mais perto ou mais longe umas

das outras. Os estados físicos das substâncias estão relacionados com o seu grau de agitação. Podendo, elas, estarem nos estados sólido, líquido e gasoso. Aqui, o professor utilizou o programa PHET Simulações Interativas Estados da Matéria: Básico, com o objetivo de demonstrar aos alunos o comportamento dos átomos e moléculas de uma substância. O programa dá a possibilidade de escolher três tipos de átomos, e um tipo de molécula para análise. Também possui a opção de modificar a temperatura das substâncias, fornecendo ou retirando calor delas. Dessa forma, o movimento das moléculas também pode ser alterados.

Aqui, o professor utilizou, á substância água para demonstrar o seu comportamento molecular nas fases sólida, líquida e gasosa.

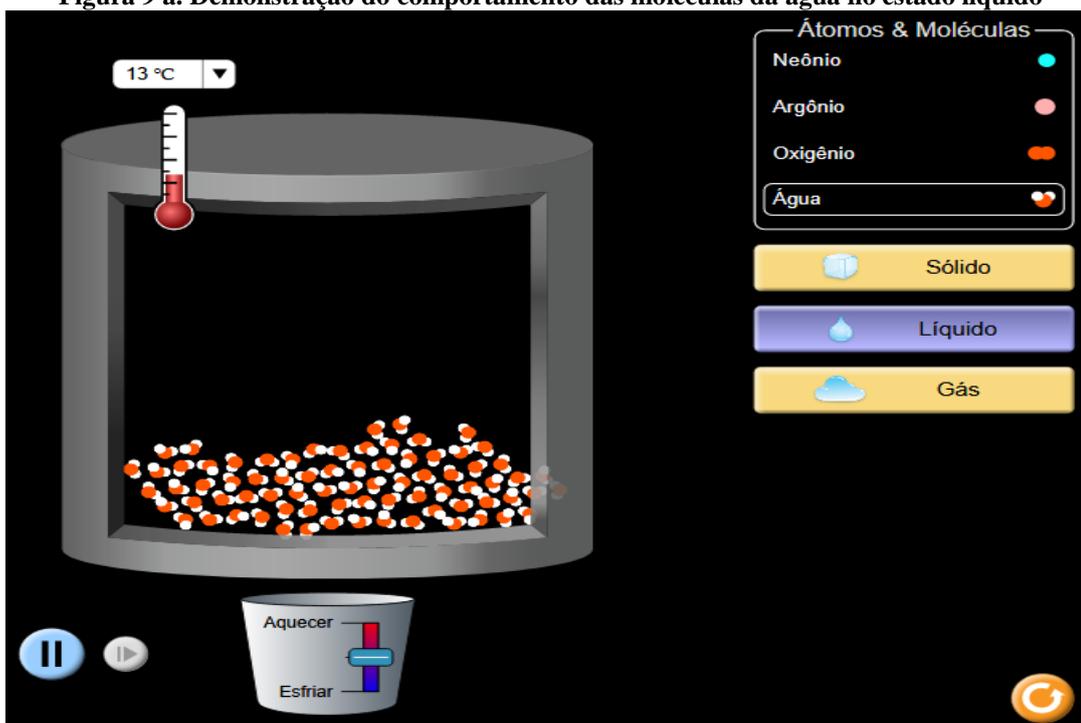
- Na fig. 8 a, percebe-se que as moléculas de água no estado sólido estão bem agrupadas.



Fonte: PHET

- Na fig. 9 a, verifica-se que a água, na fase líquida, tem suas moléculas mais afastadas umas das outras.

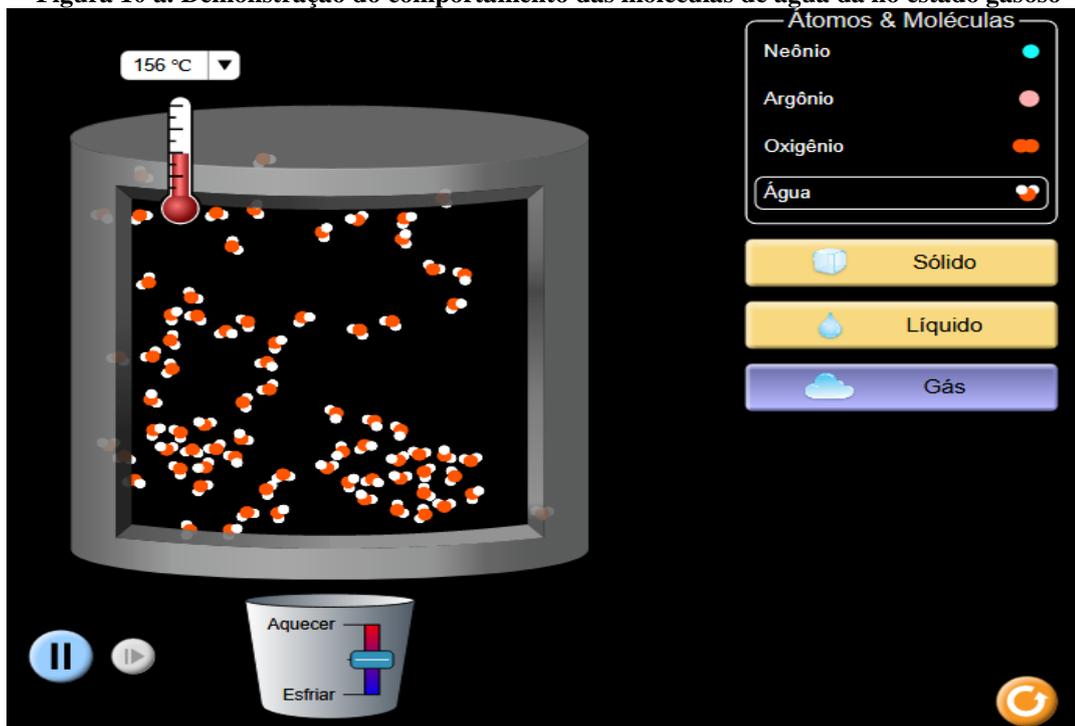
Figura 9 a. Demonstração do comportamento das moléculas da água no estado líquido



Fonte: PHET

- Na fig. 10 a, verifica-se que a água, na fase gasosa, tem suas moléculas mais afastadas uma das outras.

Figura 10 a. Demonstração do comportamento das moléculas de água da no estado gasoso



Fonte: PHET

Ao longo da apresentação, o professor ia explicando todo o conteúdo. Os alunos faziam perguntas sobre o comportamento da água, de acordo com os seus estados físicos. A visualização do comportamento das moléculas, através da aplicação do programa, deu uma ampla visão de como funciona o movimento das moléculas de uma substância. Toda a turma interagiu de forma bastante satisfatória com relação ao processo ensino-aprendizagem proposta por essa atividade.

### 6.5.3 O movimento Browniano

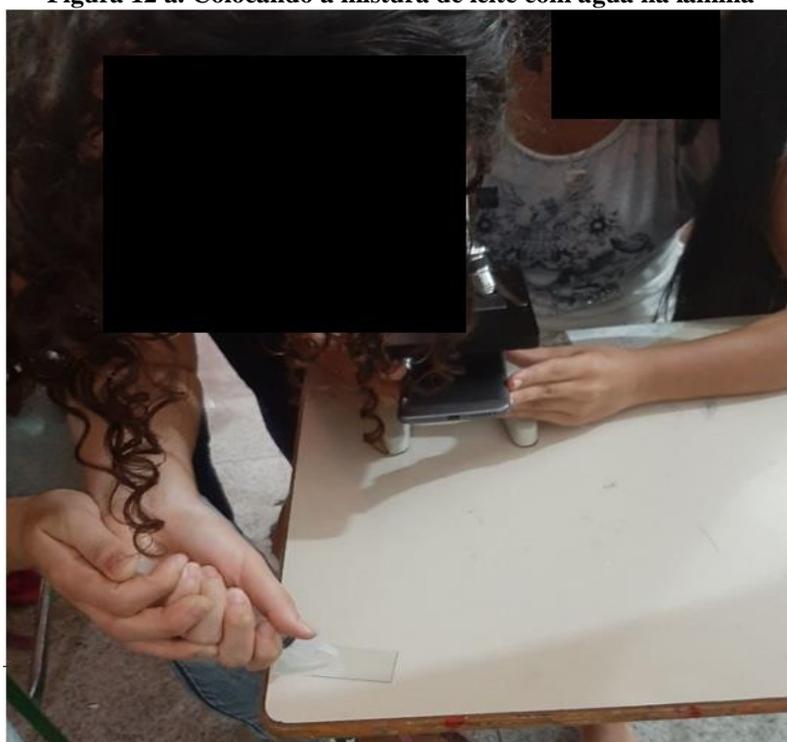
Esta atividade, foi realizada pelo professor juntamente com os alunos. Seu foco estava em fazer uma demonstração do movimento das moléculas através do movimento Browniano. Foram utilizados os seguintes materiais: água, leite, um fio de cabelo, um microscópio e um celular. O primeiro passo foi misturar 30 ml de água com duas gotas de leite em um recipiente. Em seguida, pegar um fio de cabelo e colocar em forma de um círculo sobre a lâmina. Logo após, pingar uma gota da mistura de leite com água dentro do círculo de cabelo. Após realizarmos todos os procedimentos, eles começaram a fazer observações do movimento das moléculas do leite imersas na camada de água através do microscópio simples.

**Figura 11 a. Microscópio simples**



**Fonte: Própria**

**Figura 12 a. Colocando a mistura de leite com água na lâmina**



**Fonte: Própria**

**Figura 13 a. Colocando a lâmina com a mistura de leite com água no microscópio**



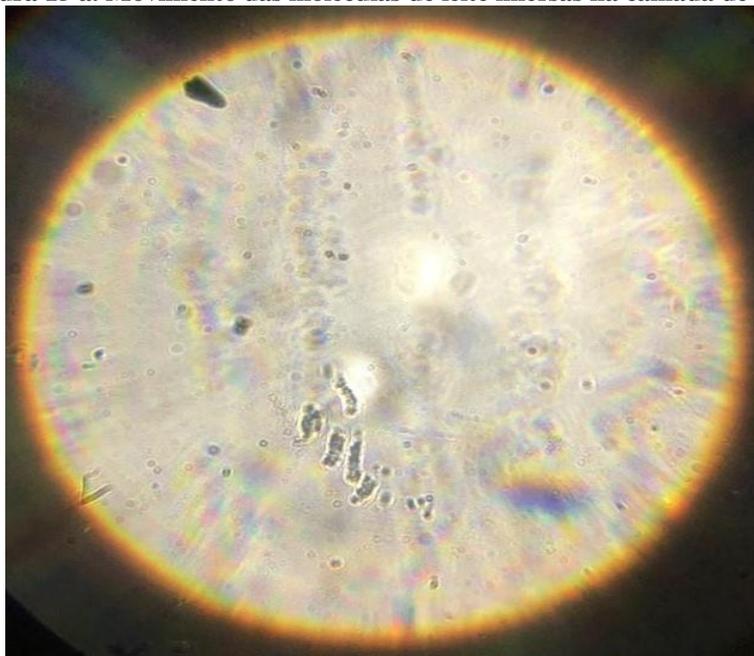
**Fonte: Própria**

**Figura 14 a. Utilizando o microscópio para visualizar o movimento das moléculas**



**Fonte: Própria**

**Figura 15 a. Movimento das moléculas de leite imersas na camada de água**



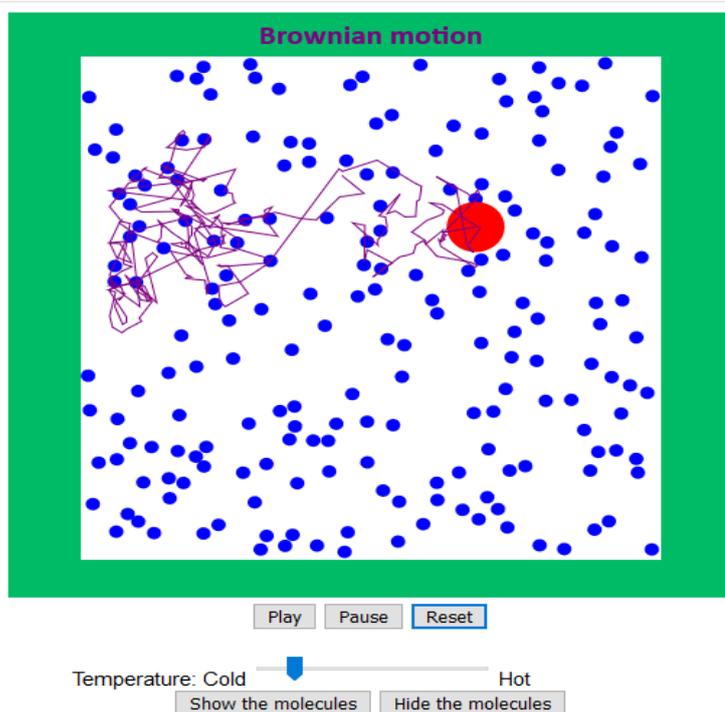
**Fonte: Própria**

A foto foi tirada a partir de um celular de forma improvisada. Os pequenos pontos, meio acinzentados, representam as moléculas de leite imersa na camada de água. Os alunos interagiram de forma satisfatória, principalmente quando visualizaram o movimento das

partículas através do microscópio. Alguns alunos falaram que as moléculas se movimentando pareciam até microorganismos vivos. Eu achei isso bem interessante porque lembra as primeiras hipóteses levantadas no estudo do movimento Browniano. Muitos dos alunos disseram que nunca tiveram contato como um microscópio. Foi uma experiência nova para eles.

**Obs.:** Caso não consiga reproduzir com êxito o experimento do movimento Browniano, o professor pode utilizar o aplicativo Brownian Motion, para simular como seria o movimento das moléculas de leite imersas na camada de água. A bolinha de cor vermelha seria a molécula de leite e as bolinhas de cor azul seriam as moléculas de água. A bola vermelha vai desenhando sua trajetória a medida que vai se movimentando. Pode-se até modificar a velocidade da agitação molecular através das opções Hot(quente) e Cold(frio).

**Figura 16 a. Simulação do movimento Browniano**



**Fonte: Brownian Motion**

---

### 3ª AULA

**Duração da aula:** 4 tempos de 50 minutos.

**Obs.:** A 3ª aula foi dividida em 2 partes, sendo que cada parte tem uma duração de 2 tempos de 50 min.

## 6.6 Nanotecnologia e Nanociência

### ATIVIDADES

#### PARTE 1 - (2 Tempos de 50 min)

##### 6.6.1 Teste de sondagem sobre nanotecnologia e nanociência e análise de texto complementar

Colocarei, aqui, algumas das respostas dos alunos:

1. Descreva com suas palavras, o que você entende por nanotecnologia e nanociência?

Resposta 1: *Elas se baseiam na manipulação dos objetos em pequenas escalas*

Resposta 2: *A nanotecnologia trabalha com tecnologia de coisas pequenas, e nanociência estuda as nanotecnologias.*

Resposta 3: *Nanotecnologia são pequenos aparelhos, tecnologia com bastante informações. Nanociência estuda o desenvolvimento de coisas pequenas.*

Resposta 4: *Nanotecnologia é uma nova tecnologia em pequenos objetos. Nanociência é o estudo aplicado na tecnologia.*

2. Você conhece alguma aplicação de nanotecnologia? Em caso afirmativo, a descreva.

Resposta 1: *Sim. Em nanochips que são utilizados em telefones.*

Resposta 2: *Sim. Em processadores de computadores.*

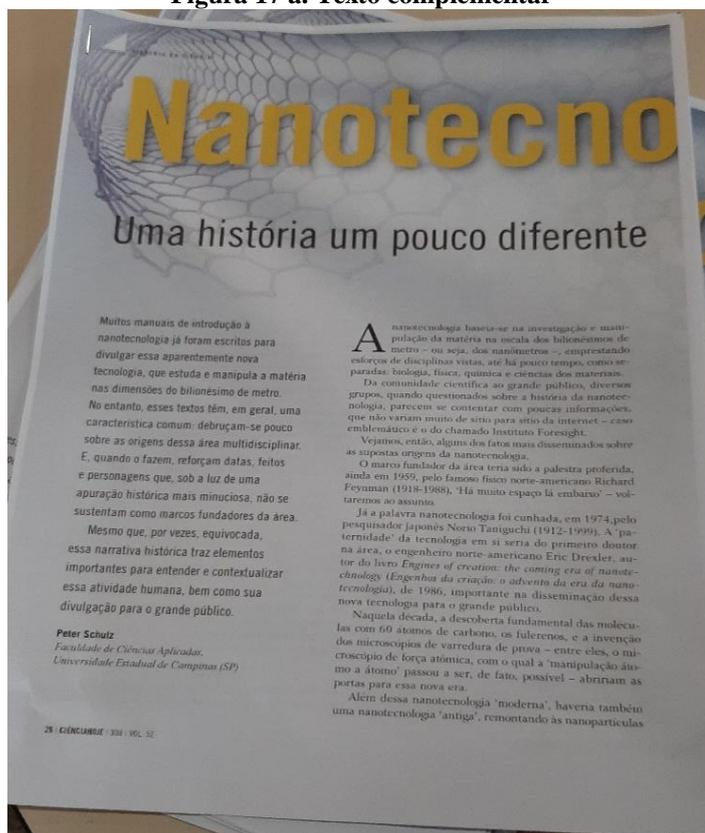
Resposta 3: *Sim. Ela trabalha com o estudo e desenvolvimento de pequenas coisas.*

Resposta 4: *Sim. A nanociência está interligada a um novo método de uma ciência mais evoluída. Temos como exemplo, o uso de microchips, aplicados nas mãos (através de uma pequena cirurgia) que permite armazenar informações diárias, como principal exemplo, marcar ponto de chegada e saída de seu trabalho, você apenas encosta sua mão, onde está localizado o chip e pronto.*

**Obs.:** Após a aplicação do teste de sondagem, o professor realizou a correção, colocando as respostas no quadro. Dessa forma, os alunos poderiam verificar se suas respostas estavam corretas, e tirar suas dúvidas. Logo em seguida, o professor propôs aos alunos a leitura e a

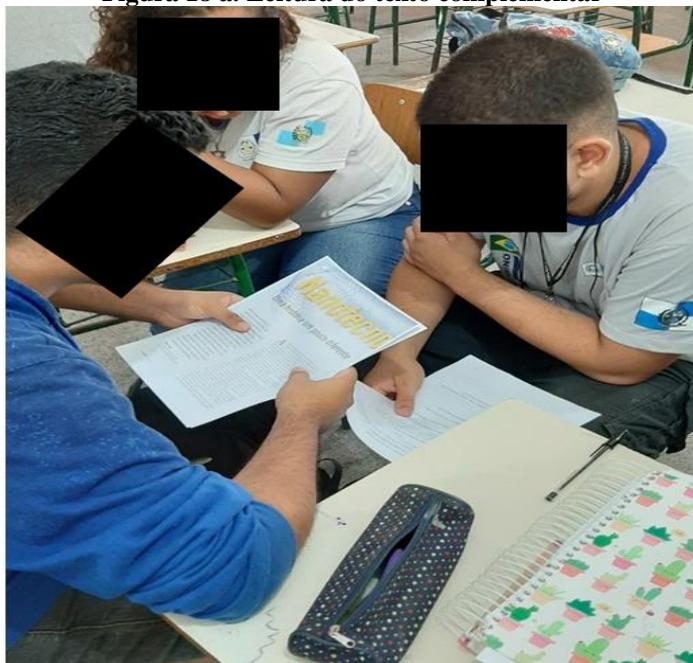
análise do texto complementar “Nanotecnologia: Uma história um pouco diferente” em sala de aula.

Figura 17 a. Texto complementar



Fonte: Própria

Figura 18 a. Leitura do texto complementar



Fonte: Própria

## PARTE 2 – (2 Tempos de 50min)

### 6.6.2 Nanotecnologia e nanociência uma inovação tecnológica inserida através de filmes de ficção científica

Nesta atividade, o professor passou o filme de ficção científica “Homem Formiga” em sala de aula, para os alunos assistirem. A ideia de utilizar um filme de ficção científica foi para verificar se os alunos eram capazes de fazer uma associação com Nanotecnologia e Nanociência, a partir da inovação tecnológica proposta pelo filme. Após o término do filme, foi aplicado um teste de sondagem.

Figura 19 a. Apresentação do filme Homem-Formiga



Fonte: Própria

### 6.6.3 Teste de sondagem - filme Homem-Formiga

Colocarei, aqui, algumas das respostas dos alunos:

1. Daria para estimar a ordem de grandeza do tamanho do Homem Formiga em sua primeira miniaturização? Em caso afirmativo justifique sua resposta.

Resposta 1: *Sim. É medida em milímetros e seu tamanho é aproximadamente 10mm.*

Resposta 2: *Sim. É medida por milímetros e estaria na ordem dos 5mm.*

Resposta 3: *Sim. Utilizando uma régua milimetrada para fazer a medida.*

Resposta 4: *Sim. Através de um microscópio é possível observar o tamanho ao qual ele se transforma, reduzindo-se ao tamanho minúsculo de uma formiga.*

2. Em uma cena do filme, o Doutor Hank Pym fala para o Scott que se ele mexer no regulador que controla a miniaturização da roupa, ele poderia ficar subatômico. Pergunta-se: o que significa ficar subatômico?

Reposta 1: *Ficar do tamanho de uma molécula.*

Reposta 2: *Diminuir até o tamanho de um átomo.*

Reposta 3: *Atingir um tamanho tão pequeno que não conseguimos ver.*

Reposta 4: *Encolher até ficar do tamanho do núcleo atômico.*

**Obs.:** Após a aplicação do teste de sondagem, o professor passou corrigindo o teste, colocando as repostas no quadro. Logo em seguida, ele explicava todo o conteúdo. Dessa forma, os alunos podiam verificar se suas repostas estavam corretas, e tirar suas dúvidas.

---

## **4ª AULA**

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

### ***6.7 Alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho***

## **ATIVIDADES**

### ***6.7.1 Teste de sondagem sobre alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho***

Colocarei, aqui, algumas das respostas dos alunos:

1. Em quantas vezes podemos dividir um pedaço de giz e os pedacinhos menores continuarem a ser giz?

Resposta 1: Pode ser dividida de tal forma que seja visível a olho nu. A partir disso se torna estrutura atômica e deixa de ser giz.

Resposta 2: Até que chegue ao ponto de molécula

Resposta 3: Partindo até o ponto de molécula

Resposta 4: Podem ficar em várias partes, até ainda haver uma molécula mínima que pode ser vista microscopicamente.

2. O que muda quando diminuimos o tamanho do giz?

Resposta 1: *Nada é alterado apenas o seu tamanho.*

Resposta 2: *Na medida que o giz vai diminuindo, a propriedade da matéria aumenta.*

Resposta 3: *Ela fica mais resistente pelo fato de sua área de contato ser menor.*

Resposta 4: *Fica pequeno.*

3. O que acontece quando tentamos dissolver em água um comprimido de sonrisal inteiro e outro triturado? Justifique sua resposta.

Resposta 1: *Nada pois nas duas formas o sonrisal será dissolvido.*

Resposta 2: *Com o sonrisal triturado, a solução ficará mais fraca que com ele dissolvido inteiro.*

Resposta 3: *Ambos serão dissolvidos sendo que em um copo a bebida ficará mais forte e no outro mais fraca.*

Resposta 4: *O sonrisal triturado parece ser dissolvido mais rápido que o inteiro.*

**Obs.:** Após a aplicação do teste de sondagem, o professor passou corrigindo o teste, colocando as repostas no quadro. Logo em seguida, ele explicava todo o conteúdo. Dessa forma, os alunos poderiam verificar se suas repostas estavam corretas, e tirar as suas dúvidas.

#### 6.7.2 A variação da razão área/volume de um material: experimento com grãos de café

Aqui o professor, juntamente com os alunos, realizou um experimento que evidencia a importância do tamanho de um material, pois, em muitos materiais, só aparecem determinadas evidências quando estão em escalas menores, como é o caso do café. Foram utilizados: um fogão, um coador, um filtro de café, um bule e dois tipos de café, um moído e outro em grãos. Pegamos um pouco de água fervida e colocamos no coador já com o filtro e café em grãos

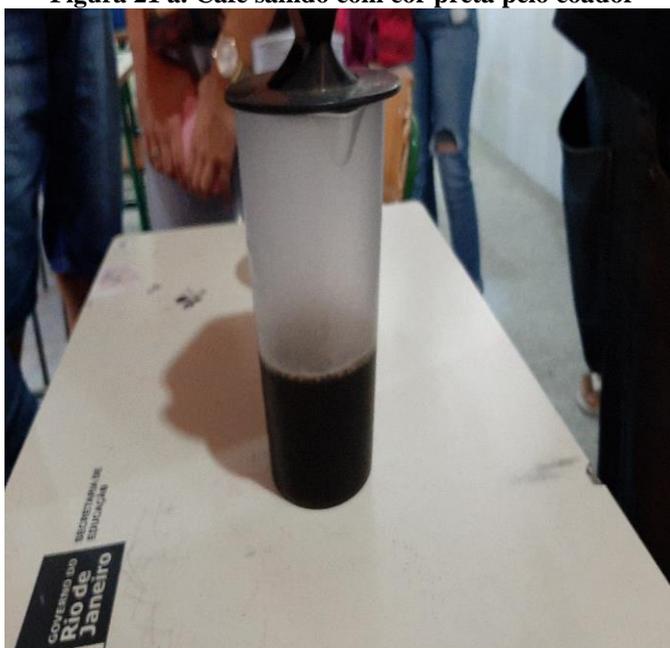
triturados no bule. Ao adicionarem água fervida no coador, eles visualizaram o café sair na cor preta pelo coador. Em seguida realizamos o mesmo procedimento, só que com o café em grãos inteiros. Já nessa situação, o café saiu pelo coador com uma cor bem mais clara em relação ao procedimento anterior. Então o professor fez a seguinte pergunta: Porque, com os grãos inteiros, o café sai mais claro e, com os grãos triturados, o café sai mais preto? Muitos dos alunos, responderam que tinha alguma coisa a ver com o tamanho dos grãos. O professor respondeu que sim, que existia essa relação. Em seguida o professor explicou aos alunos que o motivo que influenciava a diferença de tonalidade de cor do café estava relacionado ao efeito do aumento da área superficial mediante a diminuição do tamanho do café. Os alunos acharam esse experimento muito interessante, ao ponto de até citarem exemplos, como a diferença entre adoçar um café com açúcar cristal e açúcar comum. Pois o açúcar comum dilui mais que o açúcar cristal, devido aos grãos serem menores que os grãos do açúcar cristal. Esse experimento foi fundamental para que os alunos compreendessem que a medida que os materiais tornam-se menores, novas propriedades são adquiridas pelo material.

**Figura 20 a. Fazendo café com os grãos triturados**



**Fonte: Própria**

**Figura 21 a. Café saindo com cor preta pelo coador**



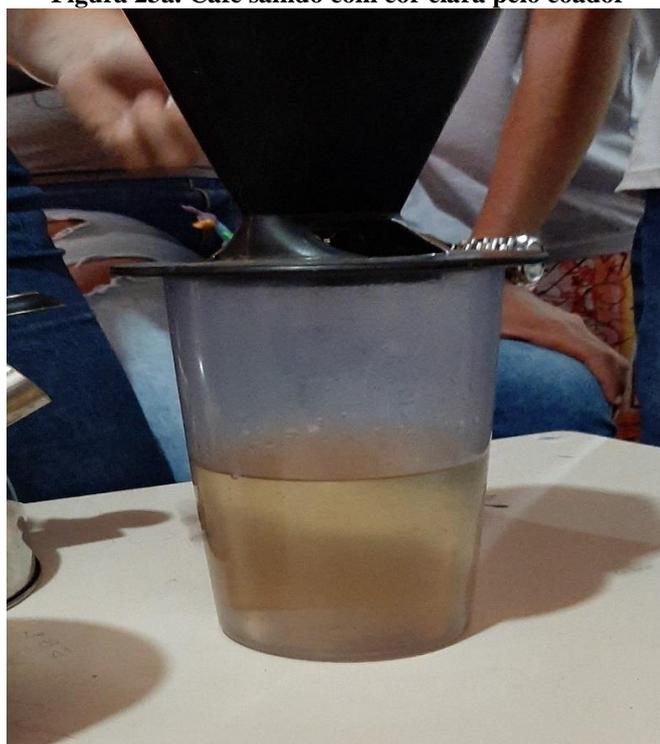
**Fonte: Própria**

**Figura 22a. Fazendo café com os grãos inteiros**



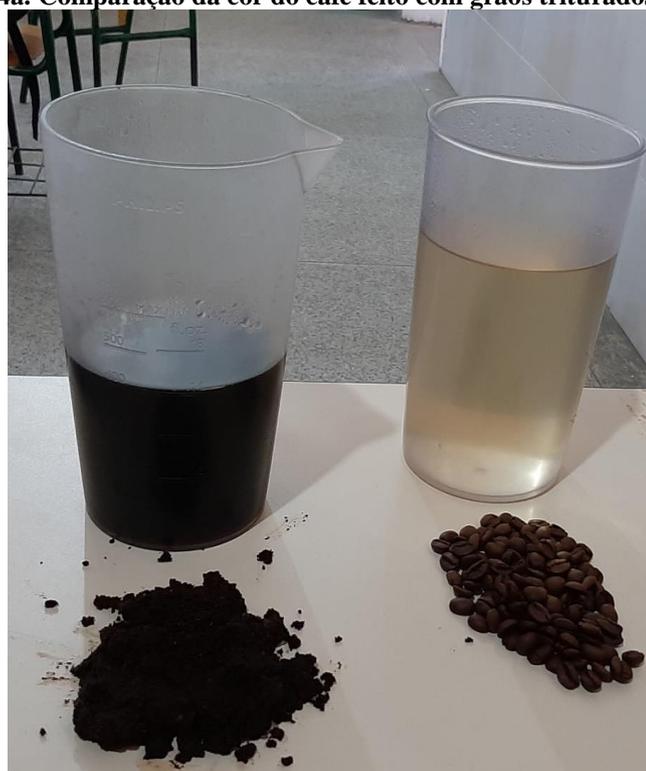
**Fonte: Própria**

**Figura 23a. Café saindo com cor clara pelo coador**



**Fonte: Própria**

**Figura 24a. Comparação da cor do café feito com grãos triturados e moídos**



**Fonte: Própria**

### 6.7.3 A variação da razão área/volume de um material: experimento geométrico

Aqui foi proposto aos alunos que calculassem a razão área/volume de um cubo em contato com o ar, para verificar o aumento da variação superficial. Inicialmente, os alunos calcularam essa razão para um cubo de 1cm de aresta. Logo em seguida, eles dividiram o cubo em partes menores, com uma aresta de 0,1cm, fornecendo um total de 1.000 cubos de mesmo tamanho. Novamente calcularam a razão área/volume do cubo. Agora eles devem dividir o cubo em pedaços menores, com aresta de 0,01cm, isso fornece um total de  $10^6$  cubos de mesmo tamanho. E, por fim, devem calcular a razão área/volume do cubo. Desta forma, os alunos verificaram que, à medida que diminuimos o lado do cubo em partes cada vez menores, a área superficial é aumentada, mesmo mantendo o volume total constante.

**Obs.:** Foram fornecidos os seguintes dados: O volume do cubo ( $V_C$ ) e a área superficial do cubo ( $S_C$ ) são dados pelas seguintes expressões  $V_C = L^3$  e  $S_C = 6L^2$ .

Esta atividade foi realizada com um pouco de dificuldade dos alunos, devido à aplicação de formalismo matemático, mesmo com o fornecimento da fórmula matemática da área e do volume de um cubo. Mediante a essa dificuldade dos alunos, fui auxiliando eles na realização dos cálculos propostos pela atividade. Mas, de uma forma geral, os alunos conseguiram visualizar, através do cálculo matemático, a variação do aumento da área superficial.

Figura 25a. O cálculo da razão área/volume de um cubo em contato com o ar, realizado pelos alunos.

$$\begin{array}{l} A = 6 \cdot L^2 \\ V = L^3 \\ L = 1 \text{ cm} \end{array} \quad \textcircled{1} \quad \frac{A}{V} = \frac{6 \cdot (1)^2}{(1)^3} = \frac{6}{1} = \boxed{6 \text{ cm}^{-1}}$$
$$\begin{array}{l} L = 0,1 \text{ cm} \end{array} \quad \textcircled{2} \quad \frac{A}{V} = \frac{6 \cdot (0,1)^2}{(0,1)^3} = \frac{0,06}{0,001} = \boxed{600 \text{ cm}^{-1}}$$
$$\begin{array}{l} L = 0,01 \text{ cm} \end{array} \quad \textcircled{3} \quad \frac{A}{V} = \frac{6 \cdot (0,01)^2}{(0,01)^3} = \frac{0,0006}{0,000001} = \boxed{600 \text{ cm}^{-1}}$$

Fonte: Própria

O professor propôs aos alunos que realizassem, como tarefa para casa, o mesmo procedimento, só que agora com uma esfera.

O volume da esfera é dado por  $V_e = \frac{4\pi}{3}R^3$  e a sua área superficial é dada por  $S_e = 4\pi R^2$ .

Os alunos devem calcular a razão área/volume de uma esfera de raio de 2 cm em contato com o ar. Em seguida, eles devem dividir a esfera em pedaços menores, com o raio de 0,2 cm, e calcular a razão área/volume da esfera. E, por fim, deverão dividir a esfera em pedaços ainda menores, com raio de 0,02 cm, e calcular a sua razão área/volume. O objetivo é que o mesmo fenômeno deve ser observado, ou seja, a medida que diminuimos o tamanho das partículas e mantemos o volume constante, há um aumento da área superficial.

Na aula seguinte, eles trouxeram a resolução e verificaram, como já se era esperado, que a variação da área superficial aumenta, à medida que diminuimos o tamanho das partículas e mantemos o volume constante.

#### *6.7.4 A variação da razão área/volume de um material: acelerando as reações químicas*

Aqui, o professor, juntamente com os alunos, realizou um experimento que demonstra a variação da razão área/volume crescente com a diminuição do tamanho. Foi utilizada uma bateria de 9 V e uma palha de aço. Ao encostarmos a palha de aço nos pólos da bateria, percebe-se que a corrente elétrica aquece os fios da palha de aço, ao ponto de pegar fogo. Foi verificado que, mesmo depois de tirar a palha de aço dos polos da bateria, ela continua pegando fogo. Logo em seguida, expliquei para os alunos que isso acontece devido aos fios serem muito finos, ocasionando uma grande quantidade de átomos de ferro em contato com o oxigênio presente no ar, grande o suficiente para ocasionar a combustão.

A fim de reforçar a importância da razão área/volume, realizei o experimento do comprimido efervescente sonrisal, um triturado e um inteiro. Ambos foram colocados, cada um, dentro de um copo com água, com o objetivo de verificar quem dissolve mais rápido. Ao realizar os experimento, os alunos verificaram que o sonrisal triturado dissolve mais rápido que o inteiro. Então, expliquei para os alunos que isso acontece devido ao aumento da superfície de contato do comprimido reagindo com a água. Os dois experimentos deixaram bem claro para os alunos a importância da variação da razão área/volume com a diminuição do tamanho de um material.

**Figura 26a. Montando o experimento**



Fonte: Própria

**Figura 27a. Ligando a palha de aço aos pólos da bateria**



Fonte: Própria

**Figura 28a. Palha de aço pegando fogo**



**Fonte: Própria**

---

## **5ª AULA**

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

### ***6.8. Experimentos de situações de nanomateriais***

#### **ATIVIDADES**

##### ***6.8.1 Calculando a espessura de um filme fino de óleo sobre a água***

Benjamin Franklin, por volta de 1757, observou que dois barcos, que faziam parte da frota, permaneciam parados, enquanto os outros se moviam com o vento. Ao verificar o motivo deste fenômeno, o capitão falou para ele que, possivelmente, os cozinheiros do barco tinham jogado óleo ao lado do barco. Indagando mais a respeito, ficou sabendo que habitantes das ilhas do pacífico jogavam óleo no mar para evitar que o vento agitasse a água impedindo assim a pescaria. No ano de 1774, Benjamin tentou reproduzir esse evento, ele pegou uma colher de 4 ml de óleo e jogou em um lago. O mais interessante foi que o óleo se espalhou por uma

superfície de 2.000 m<sup>2</sup>, formando uma película bem fina sobre a superfície da água. Embora Franklin não tivesse essa intenção, este experimento nos dá a capacidade de calcular, com uma boa aproximação, o tamanho dessas moléculas. Para isso, basta supor que o óleo se espalhe a tal ponto que se forme uma película de espessura na superfície. Ele conseguiu obter em seu experimento uma espessura de 2 nm.

Esta atividade levou o professor, juntamente com os alunos, a reproduzir, de forma aproximada, o experimento de Benjamin Franklin, com o intuito de obter, com uma boa estimativa, a espessura de um filme fino de óleo, da ordem de 10 nm. Foram utilizados os seguintes materiais: uma bacia, água, óleo de cozinha, talco, uma folha milimetrada, uma peneira, um alfinete fino e uma régua. Colocamos água dentro da bacia e esperamos até que não tivesse nenhuma ondulação na superfície. Logo após, espalhamos o talco na superfície da água, de maneira que ficasse uniforme, utilizando o coador. Em seguida, mergulhamos o alfinete fino no óleo e, ao retirarmos, pequenas gotas de óleo deslizaram pelo alfinete. Então pingamos uma dessas gotas no centro da bacia com água. Observamos que a gota de óleo vai formando uma figura mais ou menos irregular, que se espalha ao longo da superfície da água, formando um filme fino com a espessura de uma única molécula de óleo, que foi visto a partir do deslocamento das partículas do talco (fig. 29a). Antes de calcularmos a espessura do filme de óleo, tivemos que fazer algumas estimativas de medidas. Primeiramente, medimos o diâmetro da gota de óleo que sai do alfinete fino da seguinte forma: um aluno segurou uma folha de papel milimetrado na posição vertical próxima do alfinete fino mergulhado em óleo. Observamos a gota se formar e, logo em seguida, medimos o seu diâmetro quando ela ainda está presa na ponta do alfinete. Em seguida, também foi medido, com uma régua, o diâmetro da mancha de óleo. Calculamos, de forma aproximada, a área da mancha de óleo e o volume da gota de óleo.

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \text{ (volume da gota de óleo).}$$

$$A = \pi R^2 \text{ (área da mancha de óleo).}$$

Ao realizarmos as medidas, obtivemos:

- Diâmetro da gota de óleo na ponta do alfinete:  $d = 1 \text{ mm} = 0,1 \text{ cm}$ .
- $r =$  raio da gota de óleo.  $r = 0,05 \text{ cm}$
- Diâmetro da mancha de óleo:  $D = 23 \text{ cm}$ .

- R = raio da mancha de óleo. R = 11,5 cm
- E = espessura da mancha de óleo.

A espessura da camada de óleo foi calculada da seguinte forma:

$$E = \frac{V_{\text{gota de óleo}}}{\text{área mancha de óleo}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\pi R^2} = \frac{4}{3}\pi r^3 \times \frac{1}{\pi R^2} = \frac{4r^3}{3R^2} = \frac{4(0,05)^3}{3(11,5)^2} = \frac{0,0005\text{cm}^3}{396,7\text{cm}^2} \cong 0,0000012\text{cm} = 1,2 \times 10^{-6}\text{cm} = 1,2 \times 10^{-8}\text{m} = 12\text{nm}.$$

Esse valor encontrado é uma boa estimativa da espessura de um filme de óleo, uma vez que se aproxima do objetivo, que seria da ordem de 10nm.

Este experimento foi um pouco desgastante inicialmente, pois não estávamos conseguindo obter a mancha de óleo na superfície. Mas, depois de duas tentativas, conseguimos obter a mancha e realizar todo o procedimento. Os alunos foram extremamente participativos, ajudando a realizar as medidas e a desenvolverem os cálculos, mesmo com dificuldades. O objetivo aqui proposto foi alcançado, uma vez que conseguimos obter a medida na escala nanométrica proposta pela atividade.

**Figura 29a. Mancha de óleo na superfície da água**



**Fonte: Própria**

### 6.8.2 Auto-arranjos estratégia bottom-up

Este experimento foi realizado pelo professor juntamente com os alunos, com o objetivo de simular o modelo do auto-arranjo em átomos e moléculas. Isso significa átomos e moléculas se organizando de forma autônoma, através de interações físicas ou químicas, formando nanoestruturas ordenadas. Foram utilizados nessa atividade os seguintes materiais: uma bacia contendo água e um jogo de blocos de plástico. O professor pediu para que os alunos enchessem a bacia com água e, logo em seguida, colocassem os blocos de forma espalhada na superfície da água (fig. 30a). Passado um certo tempo, eles verificaram que os blocos estavam todos juntos (fig. 31a). Em seguida, os alunos perguntaram por que isso acontece? Então o professor explicou que isso ocorre devido à diminuição das tensões superficiais, provenientes da reorganização dos blocos, ou seja, o auto-arranjo. Esse experimento, mesmo sendo em escala macro, consegue simular bem o funcionamento do auto-arranjo de átomos e moléculas.

**Figura 30a. Experimento de auto-arranjo (blocos espalhados)**



**Fonte: Própria**

**Figura 31a. Experimento de auto-arranjo (blocos juntos)**



**Fonte: Própria**

---

## **6ª AULA**

**Duração da aula:** 2 tempos de 50 minutos.

***6.9 Apresentação de vídeos sobre: os nanomateriais à base de carbono na indústria, potenciais aplicações da nanotecnologia e seus impactos na saúde e no meio ambiente***

*6.9.1 Vídeos apresentados*

*6.9.2 Os nanomateriais a base de carbono na indústria*

O professor apresentou, em sala de aula, um vídeo com duração de 6 min para os alunos, sobre os nanomateriais a base de carbono e de suas aplicações atuais e futurísticas na indústria. Após a apresentação do vídeo, foi realizado um bate-papo com os alunos referente ao vídeo apresentado.

Vídeo - Os Incríveis Nanomateriais à base de carbono (INCT, 2019).

Link do vídeo: [https://www.youtube.com/watch?v=bnOoG\\_QJZQU](https://www.youtube.com/watch?v=bnOoG_QJZQU)

### *6.9.3 Potenciais aplicações da nanotecnologia*

O professor utilizou, aqui, um vídeo com uma duração de 10 min e 08 s, sobre potenciais aplicações da Nanotecnologia. Ao término do vídeo, foi proposto um bate-papo com os alunos sobre o assunto abordado no vídeo. Os alunos não imaginavam que existiam tantos materiais que já utilizam nanotecnologia. Outro fator que chamou a atenção deles foi a evolução dos computadores mediante a invenção dos transistores, fazendo com que os computadores diminuíssem de tamanho e aumentando a sua capacidade.

Vídeo - Nanotecnologia (FACAMP, 2014).

Link do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=wt8lX7wPy4o>

### *6.9.4 Impactos na saúde e no meio ambiente através da nanotecnologia*

Aqui, o professor apresentou um vídeo com uma duração total de 22 min e 06 s aos alunos, sobre os impactos negativos da Nanotecnologia na saúde e no meio ambiente. Também, como nas apresentações anteriores, ao término do vídeo foi proposto um bate-papo com os alunos sobre o tema do vídeo.

Vídeo - Impactos da nanotecnologia na saúde e no meio ambiente (RIBEIRO, 2011).

Link do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=jnwIK5o5AD8>

---

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSÃO**

Este material foi desenvolvido com um embasamento teórico e didático capaz de auxiliar o professor na inserção de alguns aspectos da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. Ainda existe uma resistência curricular muito grande no que diz respeito ao ensino de Física Moderna e Contemporânea, então, buscamos romper essa barreira através desse material. Os temas aqui escolhidos para a inserção de Física Moderna e Contemporânea foram a Nanotecnologia e a Nanociência, pois, além de estarem relacionados com a evolução tecnológica, despertam nos alunos um maior interesse pela ciência de uma forma geral. Este produto educacional foi preparado de acordo com as seguintes metodologias de ensino: a teoria da aprendizagem significativa, de David Ausubel, e a teoria da sala de aula invertida. A sequência didática aqui apresentada tem como base apresentar uma fundamentação teórica baseada nos seguintes conteúdos: notação científica; ordem de grandeza; estudo de átomos; moléculas; novos materiais; e, por fim, os nanomateriais. Através da realização de experimentos, foi demonstrado aos alunos que os materiais têm suas propriedades físicas e químicas alteradas mediante a sua miniaturização, como é o caso do aumento da área superficial através da razão área/volume. Dessa forma, os alunos conseguiram compreender a importância da Física que existe por trás dessas tecnologias, que os cercam diariamente. Este material, tem a capacidade de estimular o professor, a buscar novas maneiras de ensinar Física Moderna e Contemporânea, de tal forma, que consegue despertar nos alunos um maior interesse na ciência.

## APÊNDICE A – 1ª AULA

### 1 PROBLEMATIZAÇÃO

**Objetivo Geral:** Essa atividade tem o objetivo de chamar a atenção dos alunos para existência de uma tecnologia, que está voltada para o estudo e manipulação de objetos em escalas de ordem nanométrica.

**Sequência Didática:** O professor apresentará uma problematização para os alunos, com uma pergunta que visa verificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca da evolução tecnológica do tamanho dos objetos.

#### 1.1 Situação-problema

Temos visto que os materiais, que utilizamos com o passar do tempo, sofreram diversas modificações em suas dimensões, ou seja, os materiais estão se tornando cada vez menores e mais compactos e com mais eficiência. Essa evolução dos materiais, só foi possível devido ao surgimento de novas tecnologias, capazes de manusear a estrutura atômica e molecular da matéria. Com essa tecnologia, é possível reduzir esses materiais até atingir a escala da ordem de “Nano”.

Figura 1b – Representação de um objeto nanométrico



Fonte: (GONÇALVES, 2017)

Pergunta-se: você já ouviu falar na palavra Nano? Em caso afirmativo justifique.

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 1.2 Revisão sobre notação científica e ordem de grandeza

**Objetivo Geral:** Fazer uma breve revisão sobre os conteúdos de notação científica e ordem de grandeza. Esses conteúdos são essenciais na obtenção do conhecimento do tema central desse produto educacional que é a Nanotecnologia e Nanociência.

**Sequência Didática:** O professor fará uma revisão sobre Notação Científica e Ordem de Grandeza, pois são conceitos que os alunos devem possuir para ter a compreensão de medidas muito pequenas ou muito grandes, e para que possam ser capazes de fazer estimativas dessas medidas.

## 1.3 Notação científica

Para Bagnato & Muniz (2013), é muito comum expressarmos números que são muito grandes ou muito pequenos em ciência de forma geral. Devido a esse fato é comum utilizarmos a “notação científica”, para representar os números de forma compacta e a sua ordem de grandeza. Ainda de acordo com Bagnato & Muniz (2013), essa notação tem sua ideia baseada no uso da potência de base 10, em vez de ficar escrevendo todos os algarismos de uma determinada medida. A notação científica é representada da seguinte forma:

$$N \times 10^y$$

São representados pelo “N” que é a mantissa ou coeficiente, e “y” o expoente ou ordem de grandeza. O valor de N tem que ser maior ou igual 1 e menor que 10, e o y representa quantas vezes a mantissa N tem que ser multiplicada por 10 para se obter o valor original.

**Obs.:** Quando a vírgula é deslocada para a esquerda, o expoente da base 10 fica positivo ( $10^{+y}$ ).

Quando a vírgula é deslocada para direita o expoente da base 10 fica negativo. ( $10^{-y}$ ).

Veja os exemplos abaixo:

### Exemplo:01

A velocidade da luz é um número bem grande e geralmente é expresso em notação científica, é representado por  $c = 300000,0 \text{ km/h} = 3,0 \times 10^5 \text{ km/h}$  ou  $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

**Exemplo:02**

O tamanho do diâmetro de um átomo, que é muito pequeno, e vale 0,0000000001 m. Ele é expresso em notação científica da seguinte forma:  $0,0000000001 \text{ m} = 1,0 \times 10^{-10} \text{ m}$ .

**Obs.:** Também pode ser escrito em função dos prefixos do SI segundo as tabelas 1b e 2b. Seu valor na forma simplificada ficaria 0,1nm.

**Exercício complementar**

A distância percorrida em 1 ano-luz é de aproximadamente 9,5 trilhões de quilômetros. Experimente escrever esse número sem a notação científica ou os prefixos do SI!

R.: \_\_\_\_\_

**Tabela 1b. Prefixos do SI (Sistema Internacional de Medidas)**

Fator	Nome	Símbolo	Fator	Nome	Símbolo
$10^1$	Deca	da	$10^{-1}$	Deci	d
$10^2$	Hecto	h	$10^{-2}$	Centi	c
$10^3$	Quilo	k	$10^{-3}$	Mili	m
$10^6$	Mega	M	$10^{-6}$	Micro	$\mu$
$10^9$	Giga	G	$10^{-9}$	Nano	n
$10^{12}$	Terá	T	$10^{-12}$	Pico	p
$10^{15}$	Peta	P	$10^{-15}$	Femto	f
$10^{18}$	Exa	E	$10^{-18}$	Atto	a
$10^{21}$	Zetta	Z	$10^{-21}$	Zepto	z
$10^{24}$	Yotta	Y	$10^{-24}$	Yocto	y

Fonte: (BAGNATO & MUNIZ, 2013)

**Tabela 2b. Exemplos de prefixos utilizados no SI**

Prefixo	Multiplicador	Símbolo (exemplos)
Pico	$\times 10^{-12} = 0,000000000001$	p (pm, ps)
Nano	$\times 10^{-9} = 0,000000001$	n (nm, ns)
Micro	$\times 10^{-6} = 0,000001$	$\mu$ ( $\mu\text{m}$ , $\mu\text{s}$ )
Mili	$\times 10^{-3} = 0,001$	m (mm, ms)
Centi	$\times 10^{-2} = 0,01$	c (cm)
Quilo	$\times 10^3 = 1000$	k (km, kg)
Mega	$\times 10^6 = 1000000$	M (MHz)
Giga	$\times 10^9 = 1000000000$	G (GHz)
Terá	$\times 10^{12} = 1000000000000$	T (THz)

Fonte: (BAGNATO & MUNIZ, 2013)

#### 1.4 Ordem de grandeza

Bagnato & Muniz (2013) nos diz que a ordem de grandeza O.G. significa estimar os valores de medidas, que não podem ser conhecidas com grande precisão. Isso facilita muito quando queremos ter uma noção da magnitude de determinada grandeza, sem se preocupar com os algarismos significativos. Ainda segundo Bagnato & Muniz (2013, p. 238), “por exemplo, pode ser útil saber se o débito da sua conta no banco é da ordem de centenas, milhares ou milhões de reais! Neste caso, alguns reais a mais ou a menos podem não fazer muita diferença.” Segundo Bagnato & Muniz (2013), a ordem de grandeza possui as seguintes regras:

1ª Se a ordem de grandeza de um determinado número for, menor que a mantissa 3,16 a ordem de grandeza será  $10^y$ .

2ª Se a ordem de grandeza de um determinado número for maior que 3,16 a ordem de grandeza será  $10^{y+1}$ .

O parâmetro para análise na ordem de grandeza vale  $\sqrt{10} \cong 3,16$ , que é o valor da mantissa.

#### Exemplo:03

Determine a ordem de grandeza das medidas a baixo:

- a)  $5,0 \times 10^2 \text{kg}$   $\longrightarrow$  O.G.= $10^3 \text{kg}$
- b)  $3,0 \times 10^2 \text{km}$   $\longrightarrow$  O.G.=  $10^2 \text{km}$
- c)  $2,0 \times 10^{-1} \text{m}$   $\longrightarrow$  O.G.= $10^{-1} \text{m}$
- d)  $8 \times 10^{-3} \text{dm}$   $\longrightarrow$  O.G.=  $10^{-3+1} = 10^{-2} \text{dm}$

### Exercício complementar

Determine a ordem de grandeza dos valores abaixo:

- a)  $3,6 \times 10^3 \text{kg}$  = R.: \_\_\_\_\_ .    c)  $1,5 \times 10^{-1} \text{s}$  = R.: \_\_\_\_\_ .  
b)  $2,5 \times 10^2 \text{km}$  = R.: \_\_\_\_\_ .    d)  $4,0 \times 10^{-2} \text{m}$  = R.: \_\_\_\_\_ .

### 1.5 Trabalhando com escalas de medidas

**Objetivo Geral:** O objetivo desse tema, consiste em verificar se os alunos são capazes de realizar medidas com aproximações, principalmente com relação as escalas macro, micro e nano em objetos que fazem parte do seu dia a dia (FAGAN, 2020a)

## ATIVIDADES

### 1.6 Teste de sondagem sobre trabalhando com escalas de medidas

**Procedimento didático:** O professor irá aplicar um teste de sondagem a fim de verificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca de escalas de medidas.

- a) Que instrumentos podemos utilizar para medir a sala de aula?

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- b) É possível medir a espessura de uma folha de caderno? Justifique.

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### 1.7 Calculando a estimativa da espessura de uma folha de papel

**Procedimento didático:** Essa atividade tem o objetivo de fazer com que os alunos, consigam descobrir uma maneira de achar a espessura de uma folha de papel. A ideia é que eles consigam achar aproximadamente 0,1mm ou 100  $\mu\text{m}$  de espessura da folha. Essa atividade será

realizada por 5 grupos de 4 alunos. Cada grupo receberá um pacote de 500 folhas e uma régua de 30 cm. Os alunos terão que medir o tamanho da espessura do pacote de folhas, com a régua de 30 cm. Após ter medido a espessura do pacote, terão que dividir o valor da espessura achada pelo número de folhas existentes no pacote. Achando assim a espessura de uma folha de papel. (SCHULZ, 2007)

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### *1.8 Calculando a estimativa da largura de uma trilha de gravação de um disco de vinil*

**Procedimento didático:** Nesse tema, os alunos terão que buscar meios para encontrar a espessura de uma trilha de uma faixa musical de um disco de vinil. A ideia é que eles consigam achar aproximadamente entre 50  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$  de espessura da trilha. Essa atividade seguirá o mesmo padrão de divisão de grupos da atividade anterior. Serão formados 5 grupos compostos por 4 alunos. O procedimento consiste em primeiro lugar escolher uma faixa musical, e logo após medir a faixa com a régua que foi fornecida na atividade anterior. Os alunos deverão verificar o tempo de duração da faixa sonora na capa do disco fornecido. Sabe-se que um disco de vinil tem uma rotação de 33,3rpm. Uma vez conhecendo a espessura da faixa, a frequência e o tempo de duração, os alunos serão capazes de estimar o número de trilhas existentes em uma faixa. Com base nisso conseguem calcular a espessura de uma única trilha de gravação do disco. (SCHULZ, 2007)

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## APÊNDICE B - 2ª AULA

### 2 INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE ÁTOMOS E MOLÉCULAS

**Objetivo Geral:** O objetivo desse tema é abordar com os alunos os conceitos de átomos e moléculas.

#### ATIVIDADES

##### *2.1 Teste de sondagem sobre introdução aos conceitos de átomos e moléculas*

**Procedimento didático:** O professor irá aplicar um teste de sondagem para saber se os alunos possuem conhecimentos prévios sobre átomos e moléculas.

1. O que é matéria?

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. Do que são feitas todas as coisas? Justifique.

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Quem é maior o átomo ou a molécula? Justifique.

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. De que é feito o grafite? E o diamante? Por que eles são tão diferentes?

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ***2.2 Utilização do programa phet simulações interativas estados da matéria: básico***

**Procedimento didático:** Nessa atividade será utilizado o programa Phet Simulações Interativas Estados da Matéria: Básico, pois o mesmo serve como uma ferramenta tecnológica, que auxilia didaticamente o professor, na introdução dos conceitos de átomos e moléculas. O professor deve baixar o Phet Simulações Interativas em seu computador. O professor deve projetar a imagem do computador em uma tela, utilizando um datashow, para que ele possa demonstrar o funcionamento do programa aos alunos.

## ***2.3 Realizando o experimento do movimento browniano***

**Procedimento didático:** Nessa atividade, o professor deve realizar o experimento do movimento Browniano. Deverão ser utilizados os seguintes materiais: água, leite e um fio de cabelo. Mistura-se 30 ml de água com duas gotas de leite em um recipiente. Então pega-se o fio de cabelo e o coloca em forma de um círculo sobre a lâmina. Logo após, deve-se pingar uma gota da mistura de leite com água dentro do círculo de cabelo. Em seguida os alunos devem começar a fazer observações do movimento das moléculas do leite imersas na camada de água, através de um microscópio. (UMSNH, 2018)

## APÊNDICE C - 3ª AULA (PARTE 1)

### 3 NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA UMA INOVAÇÃO CIENTÍFICA

**Objetivo Geral:** Esse tema tem como objetivo apresentar aos alunos a definição de Nanociência e Nanotecnologia, através de textos em anexo, e filmes de ficção científica.

#### ATIVIDADES

##### *3.1 Teste de sondagem sobre nanotecnologia e nanociência e análise de texto complementar.*

**Procedimento didático:** Primeiramente, o professor irá aplicar um teste de sondagem a fim de verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre Nanotecnologia e Nanociência. Após o teste de sondagem, os alunos receberão um texto complementar sobre Nanotecnologia e Nanociência, que será lido e analisado em sala de aula junto ao professor.

1. Descreva com suas palavras, o que você entende por nanotecnologia e nanociência?

R.: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Você conhece alguma aplicação de nanotecnologia? Em caso afirmativo, a descreva.

R.: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## APÊNDICE C – 3ª AULA (PARTE 2)

### *3.2 Nanotecnologia e nanociência: uma inovação tecnológica inserida através de filmes de ficção científica.*

**Procedimento Didático:** O professor irá passar em sala de aula, o filme de ficção científica “Homem-Formiga” para os alunos assistirem. O objetivo é que os alunos possam através do filme, relacionar a Nanotecnologia e Nanociência com a inovação tecnológica proposta pelo filme. O filme Homem-Formiga (2015), com uma duração de 1h e 57min é interpretado e dirigido por Peyton Reed. Esse filme conta a história de Scott (interpretado por Paul Rudd) que embora no passado tenha recorrido à prática de assaltos para sustentar sua família, é essencialmente um homem bom. Após sair da prisão, ele tem o objetivo de se tornar um excelente pai para sua filha Cassie. Ainda que não tenha características de um herói tradicional, seu amplo conhecimento em tecnologia, sua capacidade física e sua personalidade, tornam Scott um excelente candidato para utilizar a incrível roupa do Homem-Formiga. Então, ele aceita realizar uma missão para o Doutor Hank Pym, que é roubar a roupa do jaqueta amarela, uma arma que possui o poder de destruir a humanidade.

### *3.3 Teste de sondagem - filme homem-formiga*

**Procedimento didático:** Ao término do filme, o professor irá aplicar um teste de sondagem com o objetivo de verificar se o alunos são capazes de fazer algum tipo relação da Nanotecnologia e Nanociência, através da inovação tecnológica proposta pelo filme.

1. Daria para estimar a ordem de grandeza do tamanho do Homem-Formiga em sua primeira miniaturização? Em caso afirmativo justifique sua resposta.

R.: \_\_\_\_\_

2. Na cena final do filme, O Homem-Formiga diz que só conseguiria entrar na roupa do vilão jaqueta amarela, encolhendo em nível molecular. Pergunta-se o que significa encolher em nível molecular?

R.: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## APÊNDICE D – 4ª AULA

### 4 ALTERAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS AO DIMINUIR O SEU TAMANHO

**Objetivo Geral:** Esse tema tem o objetivo de verificar, que quanto menor for o tamanho do material, mais importantes ficam os efeitos de superfície, promovidos pelo aumento da relação entre sua área e seu volume.

#### ATIVIDADES

##### *4.1 Teste de sondagem sobre alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho*

**Procedimento didático:** Nessa atividade, o professor irá buscar através de um teste de sondagem, os conhecimentos prévios dos alunos sobre a alteração das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho.

1. Em quantas vezes podemos dividir um pedaço de giz e os pedacinhos menores continuarem a ser giz?

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. O que muda quando diminuimos o tamanho do giz?

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. O que acontece quando tentamos dissolver em água um comprimido de Sonrisal inteiro e outro triturado? Justifique sua resposta.

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### ***4.2 A variação da razão área/volume de um material: experimento com grãos de café***

**Procedimento didático:** Nessa atividade, o professor irá realizar um experimento que evidencia a importância do tamanho de um material, pois em muitos materiais só aparecem determinadas evidências quando estão em escalas menores, como é o caso do café. Serão utilizados os seguintes materiais: um fogão, um coador, um filtro de café, um bule e dois tipos de café, um triturado e outro em grãos. Em seguida deve-se pegar um pouco de água com o bule e colocar para ferver no fogão. Logo após, colocar o coador já com o filtro e café com grãos triturados, no bule. Ao adicionar água fervida no coador, será visualizado o café sair na cor preta pelo coador. Depois será feito o mesmo procedimento só que com o café em grãos. Já nessa situação o café já sai pelo coador com uma cor bem mais clara em relação ao procedimento anterior. Essa diferença de tonalidades de cor está relacionada com a variação da área superficial do material. (FAGAN, 2020a)

#### ***4.3 A variação da razão área/volume de um material: experimento geométrico***

**Procedimento didático:** Nessa atividade, o professor irá propor aos alunos que realizem o cálculo de razão entre a área e o volume de um cubo de 1cm de aresta, em contato com o ar. Em seguida eles devem pegar o cubo e dividir em pedaços menores com aresta de 0,1 cm, isso fornece um total de 1000 cubos desse mesmo tamanho. E novamente devem calcular a razão área/volume. Agora eles devem pegar o cubo, só que dessa vez devem dividir em partes menores com aresta de 0,01 cm, isso fornece um total de  $10^6$  cubos de mesmo tamanho. E por fim devem calcular a razão área/volume. Assim os alunos verificaram que, à medida que diminuimos o lado do cubo em partes cada vez menores, a área superficial é aumentada mesmo mantendo o volume total constante. (SCHULZ, 2007)

**Dados:** O volume do cubo ( $V_C$ ) e a área superficial do cubo ( $S_C$ ) são dados pelas seguintes expressões  $V_C = L^3$  e  $S_C = 6L^2$ .

R.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

---

---

---

---

#### ***4.4 A variação da razão área/volume de um material: acelerando as reações químicas***

**Procedimento Didático:** Nessa atividade, o professor irá realizar um experimento capaz de demonstrar como a variação da razão área/volume ocasionam mudanças das propriedades dos materiais ao diminuir o seu tamanho. Essa atividade consiste em pegar uma bateria de 9v, e uma palha de aço. Ao encostar a palha de aço nos polos da bateria, percebe-se que a corrente elétrica aquece os fios da palha de aço, ao ponto de pegar fogo. Mesmo depois de tirar a palha de aço dos polos da bateria, ela continua pegando fogo. Devido aos fios serem muito finos, isso resulta em uma quantidade de átomos de ferro em contato com o oxigênio presente no ar, e grande o suficiente para ocasionar a combustão. (SCHULZ, 2007)

## APÊNDICE E – 5ª AULA

### 5 EXPERIMENTOS DE SITUAÇÕES DE NANOMATERIAIS

**Objetivo geral:** Esse tema, tem o objetivo de realizar experimentos capazes de representar situações de nanomateriais.

#### ATIVIDADES

##### *5.1 Calculando a espessura de um filme fino de óleo sobre a água*

Benjamin Franklin, por volta de 1757, observou que dois barcos que faziam parte da frota permaneciam parados, enquanto outros os outros se moviam com o vento. Ao verificar o motivo desse fenômeno, o capitão falou para ele que possivelmente os cozinheiros do barco tinham jogado óleo ao lado do barco. Indagando mais a respeito, ficou sabendo que habitantes das ilhas do pacífico jogavam óleo no mar para evitar que o vento agitasse a água impedindo assim a pescaria. No ano de 1774, Benjamin tentou reproduzir esse evento, ele pegou uma colher de 4ml de óleo, e jogou em um lago. O mais interessante foi que o óleo se espalhou por uma superfície de 2000 m<sup>2</sup>, formando uma película bem fina sobre a superfície da água. Embora Franklin não tivesse essa intenção, esse experimento nos dá a capacidade de calcular com uma boa aproximação o tamanho dessas moléculas. Para isso, basta supor que o óleo se espalhe a tal ponto que se forme uma película de espessura na superfície. Ele conseguiu obter em seu experimento uma espessura de 2nm. (INEP, 2016)

**Procedimento didático:** Nessa atividade, o professor irá reproduzir de forma aproximada, o experimento de Benjamin Franklin, com o intuito de obter a espessura de um filme fino de óleo, de aproximadamente 10nm. Serão utilizados os seguintes materiais: uma bacia, água, óleo de cozinha, talco, um alfinete fino, uma folha milimetrada e uma régua. Coloca-se água dentro do balde, e espera até que não tenha nenhuma ondulação na superfície. Logo em seguida coloca-se talco na superfície da água, mergulha-se o alfinete fino no óleo e ao retirá-lo, pequenas gotas de óleo deslizam pelo alfinete e caem. Então com o auxílio do alfinete fino deve-se pingar, uma dessas gotas que tem aproximadamente o diâmetro de 1mm, no centro do balde com água. Observa-se então que a gota de óleo vai se espalhando ao longo da superfície da água, formando um filme fino com a espessura de uma única molécula de óleo, que só pode ser visto a partir do deslocamento das partículas do talco. Essa espessura do filme



## APÊNDICE F – 6ª AULA

### 6 APRESENTAÇÃO DE VÍDEOS SOBRE OS NANOMATERIAIS À BASE DE CARBONO NA INDÚSTRIA, POTENCIAIS APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA E SEUS IMPACTOS NA SAÚDE E MEIO AMBIENTE.

**Objetivo geral:** Apresentar aos alunos, através de vídeos, os nanomateriais à base de carbono como: o fulereno, os nanotubos de carbono e o grafeno. Também serão apresentadas as aplicações da Nanotecnologia no setor industrial, e por fim os seus possíveis impactos à saúde e ao meio ambiente.

#### *6.1 Vídeos apresentados*

**OBS.:** Após a apresentação dos vídeos, o professor abrirá um espaço para um bate-papo sobre os vídeos apresentados.

#### *6.2 Os nanomateriais à base de carbono na indústria*

**Procedimento didático:** O professor deverá apresentar em sala de aula um vídeo com duração de 6min, para os alunos sobre os nanomateriais à base de carbono, e de suas aplicações na indústria.

Vídeo - Os Incríveis Nanomateriais à base de carbono (INCT, 2019).

Link do vídeo: [https://www.youtube.com/watch?v=bnOoG\\_QJZQU](https://www.youtube.com/watch?v=bnOoG_QJZQU)

#### *6.3 Potenciais aplicações da nanotecnologia*

**Procedimento didático:** O professor irá apresentar em sala de aula um vídeo com uma duração de 10 min e 8 s, sobre potenciais aplicações da Nanotecnologia.

Vídeo - Nanotecnologia (FACAMP, 2014).

Link do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=wt8lX7wPy4o>

#### ***6.4 Impactos na saúde e no meio ambiente através da nanotecnologia***

**Procedimento didático:** O professor apresentará um vídeo com uma duração total de 22 min e 6 s, que tem como objetivo apresentar aos alunos os impactos negativos da Nanotecnologia, à saúde e ao meio ambiente.

Vídeo - Impactos da nanotecnologia na saúde e no meio ambiente (RIBEIRO, 2011).

Link do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=jnwIK5o5AD8>

# Nanotecnologia

## Uma história um pouco diferente

Muitos manuais de introdução à nanotecnologia já foram escritos para divulgar essa aparentemente nova tecnologia, que estuda e manipula a matéria nas dimensões do bilionésimo de metro. No entanto, esses textos têm, em geral, uma característica comum: debruçam-se pouco sobre as origens dessa área multidisciplinar. E, quando o fazem, reforçam datas, feitos e personagens que, sob a luz de uma apuração histórica mais minuciosa, não se sustentam como marcos fundadores da área.

Mesmo que, por vezes, equivocada, essa narrativa histórica traz elementos importantes para entender e contextualizar essa atividade humana, bem como sua divulgação para o grande público.

**Peter Schulz**  
 Faculdade de Ciências Aplicadas,  
 Universidade Estadual de Campinas (SP)

A nanotecnologia baseia-se na investigação e manipulação da matéria na escala dos bilionésimos de metro – ou seja, dos nanômetros –, emprestando esforços de disciplinas vistas, até há pouco tempo, como separadas: biologia, física, química e ciências dos materiais.

Da comunidade científica ao grande público, diversos grupos, quando questionados sobre a história da nanotecnologia, parecem se contentar com poucas informações, que não variam muito de sítio para sítio da internet – caso emblemático é o do chamado Instituto Foresight.

Vejamos, então, alguns dos fatos mais disseminados sobre as supostas origens da nanotecnologia.

O marco fundador da área teria sido a palestra proferida, ainda em 1959, pelo famoso físico norte-americano Richard Feynman (1918-1988), ‘Há muito espaço lá embaixo’ – voltaremos ao assunto.

Já a palavra nanotecnologia foi cunhada, em 1974, pelo pesquisador japonês Norio Taniguchi (1912-1999). A ‘paternidade’ da tecnologia em si seria do primeiro doutor na área, o engenheiro norte-americano Eric Drexler, autor do livro *Engines of creation: the coming era of nanotechnology* (*Engenhos da criação: o advento da era da nanotecnologia*), de 1986, importante na disseminação dessa nova tecnologia para o grande público.

Naquela década, a descoberta fundamental das moléculas com 60 átomos de carbono, os fulerenos, e a invenção dos microscópios de varredura de prova – entre eles, o microscópio de força atômica, com o qual a ‘manipulação átomo a átomo’ passou a ser, de fato, possível – abririam as portas para essa nova era.

Além dessa nanotecnologia ‘moderna’, haveria também uma nanotecnologia ‘antiga’, remontando às nanopartículas

# logia



de ouro e prata, dando características especiais a vidros produzidos na Roma antiga. Evidentemente, aqueles romanos não tinham ideia de que se tratava de partículas coloidais, que, hoje, são chamadas nanopartículas e – fato raramente lembrado nas várias histórias da nanotecnologia – estudadas sistematicamente pelo físico inglês Michael Faraday (1791-1867), em meados do século 19.

**Espaço lá embaixo** Contar a história desse modo nada acrescenta à compreensão da nanotecnologia como uma atividade humana de pesquisa e inovação, com importantes repercussões sociais. No entanto, esse pequeno conjunto de, digamos, notas de rodapé fornece excelentes pontos de partida para ir um pouco mais a fundo e construir um olhar diferente sobre o tema.

Começamos pela palestra de Feynman – Nobel de Física de 1965 –, adormecida por mais de 20 anos e transformada em uma profecia por, entre outros, Drexler – afinal, nada melhor do que um oráculo renomado para fomentar uma proposta supostamente nova.

O propósito da palestra aparecia logo no começo: “Quero falar sobre o problema de manipular e controlar as coisas na escala atômica”. E uma meta era anunciada em seguida: “Por que não podemos escrever os 24 volumes inteiros da *Enciclopédia Britânica* na cabeça de um alfinete”? Para responder a essa pergunta, Feynman encadeou uma série de elaborações conceituais que hoje soam, de fato, proféticas – e, à época, eram, sem dúvida, interessantes.

Mas seriam assim tão visionárias?

Perscrutando o contexto da época, o leitor pode chegar às próprias conclusões, lembrando que Feynman não

cita resultados científicos em sua palestra, mas certamente era uma pessoa muito bem informada.

O que se passava, então? Em 1958, foi desenvolvida a prova de conceito do circuito integrado (CI), rapidamente reconhecido como a primeira rota eficiente para miniaturização da eletrônica em escala sem precedentes. O físico e engenheiro norte-americano Jack Kilby (1923-2005) – Nobel de Física de 2000 pela invenção do CI – teria anotado, em seu caderno de laboratório, em 1958: “Miniaturização extrema de muitos circuitos elétricos pode ser alcançada, fazendo resistores, capacitores, transistores e diodos em uma única fatia de silício”.

A palavra ‘extrema’ abria as portas para a imaginação em uma época em que competições de miniaturização já eram moda – e isso antes mesmo do prêmio oferecido por Feynman em sua palestra para quem construísse o menor motor do mundo. Assim, a profecia de Feynman não era desprovida de pistas claras de que poderia ser realizada.

A palestra de Feynman tampouco influenciou diretamente o desenvolvimento da nanotecnologia, como aponta o antropólogo cultural norte-americano Chris Toumey, em seu artigo ‘Lendo Feynman no contexto da nanotecnologia’. Nele, Toumey escreve que as reais motivações de Feynman – frequentemente associadas à antecipação da nanotecnologia – vêm sendo discutidas também por historiadores da física. Mesmo assim, a palestra abriu-se para a fama, chancelada por milhares de citações.

Mas seria possível um artigo praticamente desconhecido hoje ter tido, de fato, forte influência direta no desenvolvimento da nanotecnologia?

>>>

**Engenharia molecular** O físico teuto-americano Arthur von Hippel (1898-2003), três anos antes da palestra de Feynman, publicou na revista *Science* um artigo-manifesto chamado 'Engenharia molecular', que abre com a pergunta: "O que é engenharia molecular?".

A resposta é a própria definição de nanotecnologia: "Em vez de tomarmos materiais pré-fabricados e tentarmos encontrar aplicações de engenharia para eles, consistentes com suas propriedades macroscópicas, podemos construir materiais a partir de átomos e moléculas para um fim desejado... [o engenheiro] pode jogar xadrez com partículas elementares de acordo com regras preestabelecidas, até que novas soluções de engenharia tornem-se aparentes".

As elaborações conceituais oferecidas pelo artigo para alcançar esse objetivo são mais modestas que as de Feynman. Porém, von Hippel ataca o problema de qual seria o arcabouço institucional para isso: "O que estamos tentando criar como resposta para essa situação são laboratórios verdadeiramente interdepartamentais para a ciência e engenharia moleculares". À época, von Hippel chefiava um laboratório no MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), nos EUA, formado por "físicos, químicos, engenheiros elétricos e especialistas em cerâmicas, com a esperança de estabelecer alianças com engenheiros mecânicos, químicos, metalúrgicos, bem como biólogos, com o crescimento da experiência e confiança".

Assim, nota-se que von Hippel não só definiu o escopo da nanotecnologia, mas também antecipou seu ambiente de pesquisa, ou seja, aquele marcadamente interdisciplinar, como observado hoje.

O conceito de engenharia molecular foi logo usado no âmbito da microeletrônica – então nascente – como possível alternativa ao silício, atravessando as portas da indústria à época, com programas ambiciosos que, no entanto, foram revistos anos depois. As razões desse redirecionamento são discutidas no artigo 'A longa história da engenharia molecular: origens microeletrônicas da nanotecnologia', de Hyungsub Choi e Cyrus Mody. As promessas iniciais dessas alternativas acabaram esbarrando em problemas que, em parte, ainda não foram totalmente resolvidos a ponto de elas concorrerem, em condições de igualdade, com a microeletrônica – hoje, já a nanoeletrônica – convencional baseada em silício.

Apesar desse impasse inicial, as ideias ficaram no ar, e um produto delas se concretizou no ano em que a palavra nanotecnologia teria sido cunhada: em 1974, o pesquisador da IBM Ari Aviram e o químico teórico norte-americano Mark Ratner anunciam o desenvolvimento, nos laboratórios daquela empresa, de um diodo molecular, ou seja, o primeiro dispositivo eletrônico da 'engenharia molecular'.



Os anos seguintes testemunharam um despertar da eletrônica molecular, catalisado por Forrest Carter, químico norte-americano do Laboratório de Pesquisas Navais (EUA). Carter – hoje, praticamente esquecido – conheceu Feynman e buscou construir uma comunidade científica nessa área emergente, promovendo, em 1981, o primeiro Workshop Internacional sobre Dispositivos Eletrônicos Moleculares. É nesse ambiente que se forma, por exemplo, Eric Drexler.

**Química dos colóides** Qual é o papel de livros de divulgação no fomento de uma nova área do conhecimento? O livro de Drexler faz lembrar outro, mais antigo, *O mundo das dimensões esquecidas*, de 1914, do químico alemão Wolfgang Ostwald (1883-1943). Aqui, voltamos às partículas coloidais – cujas dimensões estão entre milionésimos e bilionésimos de metro –, que não eram mera curiosidade científica no início do século passado.

Para promover essa área do conhecimento, Ostwald dizia que "não conhecia uma área da ciência contemporânea que abordasse tantos e tão distintos campos de interesse, como a química dos colóides. É certo que a teoria atômica e a radioatividade interessam a qualquer ser humano culto. Mas são especiarias intelectuais comparadas com a química dos colóides, que é necessária para várias áreas teóricas e práticas".

Essa ciência dos colóides chegou ao clímax de sua percepção acadêmica com o prêmio Nobel de Química de 1925, para o austríaco Richard Zsigmondy (1865-1928), e, no ano seguinte, para o sueco Theodor Svedberg (1884-1971) e para o francês Jean Perrin (1870-1942) – este último, na categoria Física.

Havia, portanto, todo um projeto de pesquisa interdisciplinar que buscava aplicações tecnológicas e estava baseado em nanopartículas, como resumido pelo historiador da ciência norte-americano Gerald Holton, em seu ensaio 'Subelétrons, pressupostos e a polêmica Millikan-Ehrenhaft': "Acreditava-se, em geral, que a pesquisa dos colóides era uma grande fronteira, tanto para a ciência pura quanto para a aplicada e que poderia constituir uma ponte entre a matéria inorgânica e a orgânica. Esse campo parecia encerrar grandes promessas para a pesquisa médico-biológica e também para a indústria". Ou seja, outra

definição muito próxima das promessas e dos alcances atribuídos à nanotecnologia atualmente.

**Bala mágica** Associados às nanopartículas – um dos carros-chefe da nanotecnologia –, estão os sistemas de carregamento e liberação de drogas: remédios nanoparticulados encapados por um material que se associa seletivamente a células doentes, permitindo atingir apenas o alvo (a doença) com maior eficiência, necessitando, assim, de doses menores e diminuindo os efeitos colaterais. Anunciada frequentemente como uma revolução viabilizada pela nanotecnologia, essa ideia remonta ao início do século passado, com o conceito de ‘bala mágica’, do médico e cientista alemão Paul Ehrlich (1854-1915), Nobel de Medicina de 1908: remédios que vão apenas e diretamente às células doentes.

Desde então, não parou o desenvolvimento de estratégias para obter essas ‘balas mágicas’. Um caso que serve como ilustração: o artigo ‘Uso de ouro e ouro coloidal radioativo recoberto por prata na mitigação de ascites e efusões pleurais’, de 1958, publicado no *British Journal of Radiology*.

De que se trata? Ouro radioativo tem efeito terapêutico em doenças enunciadas no artigo, mas se descobriu que chegava à região pretendida apenas quando recoberto com prata. Pode-se dizer que é um exemplo de ‘bala mágica’ viabilizada pela nanotecnologia da década de 1950 e comercializada à época.

**Imperativo cultural** Podemos nos perguntar o que os exemplos mencionados aqui têm em comum. Vimos que a ‘agenda contemporânea’ da nanotecnologia já havia sido proposta, pelo menos, duas vezes, antecipando tanto a estrutura de instituições interdisciplinares para levar esse projeto adiante quanto a obtenção de projetos ambiciosos de financiamento.

Richard Jones, do Departamento de Física da Universidade de Sheffield (Reino Unido), argumenta que, “em vez de pensar na emergência de um novo campo científico, a nanotecnologia seria mais bem definida como um projeto sociopolítico, resultado de influências tanto da ciência quanto de um clima político, econômico e cultural” – exatamente como nos exemplos mostrados aqui.

Assim, pode-se dizer que estamos presenciando uma ‘nova onda’ da nanotecnologia – com as primeiras ‘ondas’ não recebendo o devido crédito na mídia. Devemos, então, abordar a questão como um todo: a nanotecnologia começando, de fato, com a química dos colóides e ideias como a da ‘bala mágica’.

A nanotecnologia seria um ‘imperativo cultural’, conceito formulado pelo arqueólogo da cultura norte-americano Michael Schiffer, que ilustrou o conceito



O rádio de pilha é um exemplo notável de miniaturização bem-sucedido e que guarda certa analogia com o percurso da nanotecnologia

aplicando-o ao caso do rádio de pilha – notável exemplo de miniaturização bem-sucedido e que guarda certa analogia com o que discutimos aqui.

Imperativo cultural seria um “mandato para um desenvolvimento tecnológico”, “um produto ou ideia intensamente desejados por um grupo – seu ‘círculo eleitoral’ – e considerados inevitáveis e à espera de meios tecnológicos para tornar-se realidade”. Nesse círculo eleitoral, assumem papel de destaque os promotores da ideia (Ostwald, Von Hippel, Carter e Drexler), bem como leigos e a mídia – com veículos de difusão da ideia, como as revistas sobre rádio e eletrônica do começo do século passado, no caso analisado por Schiffer –, que contribuem para manter o interesse, além dos pesquisadores e técnicos propriamente ditos.

Um imperativo cultural pode demorar décadas até que se viabilize, podendo passar por várias rotas de desenvolvimento independentes entre si, como vem ocorrendo com a nanotecnologia. Ao se disseminar, novas rotas tendem a minimizar o papel das outras, recorrendo, às vezes, a imagens que provavelmente nunca passarão de provas de conceito, como é o caso das nanomáquinas, popularizadas nessa ‘terceira onda’ da nanotecnologia. ■



### Sugestões para leitura

- SCHULZ, P. *A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos*. Rio de Janeiro, Editora Vieira & Lent (2009).
- FERNANDES, M. F. M. *História da ciência do tempo presente: o caso da nanotecnologia*. Disponível em: <http://bit.ly/15eJ3YK>
- CHOI, H. e MODY, C. C. M. 'The long history of molecular electronics: microelectronics origins of nanotechnology'. *Social Studies of Science*, v. 39, n. 11 (2009). Disponível em: <http://bit.ly/15gt1GU>
- HOLTON, G. *A imaginação científica*. Rio de Janeiro, Zahar (1979).

### NA INTERNET

Instituto Foresight (em inglês): <http://www.foresight.org/nano/history.html>

## REFERÊNCIAS

ARRUDAS, M. **Material com nanopartículas de prata deixa dentadura mais confortável e higiênica.** Disponível em: AUSPIN - Agência USP de Inovação:

<http://www.inovacao.usp.br/material-com-nanopartículas-de-prata-deixa-dentadura-mais-confortavel-e-higienica/> > Acesso em: 14 de janeiro de 2020.

BRASIL. **Lei 9394, de 20 Dezembro de 1996.** In.: *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.* Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70320/65.pdf>

\_\_\_\_\_. **Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília: Mec, 2000.

\_\_\_\_\_. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais(PCN+):** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

\_\_\_\_\_. **Orientações Curriculares Para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (Vol. 2).** Brasília: MEC, 2006.

BAGNATO, V. S., & MUNIZ, S. R. **Medidas de Grandezas Físicas.** In.: Fundamentos da Matemática II, 2013, p. 232-246. Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4394891/mod\\_resource/content/1/MedidasFisicas.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4394891/mod_resource/content/1/MedidasFisicas.pdf)

CARAM, R. **Estrutura e propriedades dos materiais.** Campinas, São Paulo, Brasil, setembro de 2006. Disponível em [fem.unicamp](http://www.fem.unicamp.br/%7Ecaram/ensino.htm):

<http://www.fem.unicamp.br/%7Ecaram/ensino.htm> > Acesso em 20 de abril de 2020.

CASTRO, D. L., CAVALCANTE, M. d., & PEDROSA, M. C. **Nanotecnologia e polímeros: revisão dos temas visando a abordagem em aulas de química.** In.: *Thema*, 2019, p. 313-300.

CHICÓRA, T., CAMARGO, S., & TOPPEL, A. **História e filosofia da ciência no ensino de física moderna.** In.: *EDUCERE-XII CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO*, 2015, p. 20175-20187.

CUPERTINO, L. F. **Modelagem do módulo de young em nanocompósitos através de inteligência computacional.** In.: *Dissertação, PUC-RIO - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, PPG EM ENGENHARIA ELÉTRICA*, Rio de Janeiro, 2010.

DELGADO, A. **Ligação covalente iônica.** In.: *afonsodelgado.blogspot*. 24 de janeiro de 2015. Disponível em: <http://afonsodelgado.blogspot.com/2015/01/ligacao-covalente-ligacao-ionica-e.html> > Acesso em 21 de abril de 2020.

DIAS, D. L. **Cloreto de sódio sal de cozinha.** Disponível em:

<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/cloreto-sodio.htm>. > Acesso em: 12 de agosto de 2020.

FACAMP, C. **Nanotecnologia**. In.: *1 vídeo (10min:08seg)*, 11 de Agosto de 2014. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=myr\\_nMOFOiw&t=822s](https://www.youtube.com/watch?v=myr_nMOFOiw&t=822s) > Acesso em 26 de Agosto de 2020.

FAGAN, S. B. **Definições de Nanociências e Nanotecnologia**. In.: S. B. FAGAN, *NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA PARA INICIANTES* (Vol. 1, p. 1-13). Santa Maria - RS: UFN. Disponível em: [ava.ufn.edu](http://ava.ufn.edu): [https://ava.ufn.edu.br/pluginfile.php/553680/mod\\_resource/content/1/Definições de Nanociências e Nanotecnologia - Tópico 1 - curso de extensão.pdf](https://ava.ufn.edu.br/pluginfile.php/553680/mod_resource/content/1/Definições%20de%20Nanociências%20e%20Nanotecnologia%20-%20Tópico%201%20-%20curso%20de%20extensão.pdf) > Acesso em: 24 de junho de 2020.

\_\_\_\_\_. **Propriedades estruturais e morfológicas**. In.: S. B. FAGAN, *NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA PARA INICIANTES* (Vol. 1, p. 1-13). Santa Maria - RS: UFN. Disponível em: [ava.ufn.edu](http://ava.ufn.edu): [https://ava.ufn.edu.br/pluginfile.php/555951/mod\\_resource/content/2/Propriedades estruturais e morfológicas.pdf](https://ava.ufn.edu.br/pluginfile.php/555951/mod_resource/content/2/Propriedades%20estruturais%20e%20morfológicas.pdf) > Acesso em: 02 de julho de 2020.

FRUETT, F. **Texto - Física dos semicondutores**. 3 de março de 2004. Disponível em: <http://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE530/PDF/Texto%20-%20F%20EDsica%20dos%20Semicondutores.pdf> > Acesso em: 10 de Abril de 2020.

GONÇALVES, G. S. **Novos materiais de construção para Construção Civil**. 2017. Disponível em: <http://docplayer.com.br/49947346-Novos-materiais-de-construcao-para-construcao-civil-geciane-silva-goncalves.html> > Acesso em: 23 de agosto de 2020.

INCT. **Os Incrveis Nanomateriais de Carbono**. In.: *1 Vídeo (6min)*, 21 de maio de 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KseJW3KouOM> > Acesso em 26 de agosto de 2020.

INEP. **INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira**. 2016. Disponível em portal.inep: [http://download.inep.gov.br/educacao\\_basica/enem/ppl/2016/prova\\_caderno\\_branco\\_9\\_2016.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/ppl/2016/prova_caderno_branco_9_2016.pdf) > Acesso em 24 de agosto de 2020.

LIMA, Y. O., SILVA, J. A., & SILVA, G. S. **Potencial dos nanotubos de carbono no setor da construção civil**. In.: *Cadernos de Graduação - Ciências exatas e Tecnológicas*, 4(1), 2017, p. 211-222.

MARION, B., & HASAN, N. **Grafeno: Inovações, Aplicações e sua Comercialização**. In.: *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*, 2(1), 2016, p. 29-40.

MARIZ, F. **Vacina em spray, com aplicação no nariz, será testada contra a covid-19**. Disponível em: *Jornal da USP*: <https://jornal.usp.br/ciencias/vacina-em-spray-com-aplicacao-no-nariz-sera-testada-contr-a-covid-19/> > Acesso em: 05 de junho de 2020.

- MARTINS, P. **Nanotecnologia e Meio Ambiente Para Uma Sociedade Sustentável.** In.: *Estudios Sociales - Revista de Investigación Científica*, 17(34), 2009, p. 293-311. Disponível em: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-45572009000200012&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572009000200012&lng=es&nrm=iso).
- MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de Física.** In.: *Estudos Avançados*, 2018, p. 73-80. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v32n94/0103-4014-ea-32-94-00073.pdf>.
- MUNIZ, S. R. **Introdução ao Estudo dos Sólidos.** In.: S. R. MUNIZ, *Estruturas da Matéria*, São Paulo, 2012, p. 1-8. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1919239/mod\\_resource/content/4/T3\\_Capitulo7\\_v1.3.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1919239/mod_resource/content/4/T3_Capitulo7_v1.3.pdf)
- NAVARRO, R. F. **A Evolução dos Materiais. Parte1:** da Pré-história ao Início da Era Moderna. In.: *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 1(1), 2006, p. 1-11. Disponível em: <https://aplicweb.feevale.br/site/files/documentos/pdf/32246.pdf>.
- OLIVEIRA, F. F., VIANNA, D. M., & GERBASSI, R. S. **Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores.** In.: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(3), 2007, p. 447-454.
- OLIVEIRA, T. E., ARAUJO, I. S., & VEIT, E. A. **Sala de aula Invertida (flipped classrrom):** Inovando as aulas de física. In.: *Física na Escola*, 14(2), 2016, p. 4-13.
- PASCHOALINO, M. P., MARCONE, G. P., & JARDIM, W. F. **Os nanomateriais e a questão ambiental.** In.: *QUÍMICA NOVA NA ESCOLA*, 2010, p. 421-430.
- PENA, F. L. **Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula?** In.: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(1), 2006, p. 1-2.
- PEREIRA, M., & ANTÔNIO, J. **Fulerenos uma breve revisão.** In.: *EXACTA*, 10(2), 2012, p. 269-280.
- PEREZ, S., CASTRO, B. F., MAIA, N. C., & NASCIMENTO, C. C. (2018). **O estudo do movimento browniano com material de baixo custo.** In.: (S. R. Salinas, Ed.) *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(1), 1-7. Acesso em: 09 de outubro de 2019.
- PIMENTA, M. A., & MELO, C. P. **Nanociências e nanotecnologia.** In.: *Ciência e Natura*, III, 2007, p. 9-19.
- QUINA, F. H. **Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos.** In.: *Química Nova*, 27(6), 2004, p. 1028-1029.
- QUINTANILHA, R. C., ROCHA, I., VICHESI, R. B., NAIDEK, K., WINNISCHOFER, H., VIDOTTI, M., & LUCHT, E. **Eletrocromismo: fundamentos e a aplicação de nanomateriais no desenvolvimento de eletrodos de alto desempenho.** In.: *Química Nova*, 37(4), 20 de fevereiro de 2014, p. 677-688.

REZENDE, S. M. **Materiais e Dispositivos Eletrônicos**, 2a ed, São Paulo: Livraria da Física, 2004.

\_\_\_\_\_. **A Aventura da Física da Matéria condensada**. In.: *Ciência Hoje*, 37, agosto de 2005, p. 26-33.

RIBEIRO, S. **Palestra Silvia Ribeiro - Impactos da nanotecnologia na saúde e no meio ambiente**. In.: *1 Vídeo (22min:05)*, 31 de Janeiro de 2011. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jnwIK5o5AD8&t=475s> > Acesso em: 26 de agosto de 2020

SALLA, L. D., & CADIOLI, L. P. **A relação dos nanomateriais com a nova revolução industrial**. In.: *Interface Tecnológica*, 3(1), 01 de julho de 2006, p. 11-20.

SEVERO, E. P., & GOMES, G. G. **Da queda das folhas aos átomos e circuitos elétricos**. In.: *Revista colorida ponte preta 2*, 2011, p. 21-28. Disponível em: [periodicos.ifsc.edu.br](http://periodicos.ifsc.edu.br) > rtc > article > download

SILVA, J. M., & LIMA, J. A. **Quatro abordagens para o movimento browniano**. In.: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 2007, p. 25-35.

SILVA, S. d., & SCHIRLO, A. C. **Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: Reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social**. In.: *Imagens da Educação*, 4(1), 2014, p. 36-42.

SCHULZ, P. A. **Nanociência de baixo custo em casa e na escola**. In.: *Física na Escola*, 8, 2007, p. 4-9. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num1/v08n01a02.pdf>

\_\_\_\_\_. **NANOTECNOLOGIA - Uma história um pouco diferente**. In.: *CIÊNCIA HOJE*, 52(308), outubro de 2013, p. 26-29.

TEIXEIRA, M. M. **Física e nanotecnologia**. Disponível em: Brasil Escola: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/fisica-nanotecnologia.htm>. > Acesso em: 28 de julho de 2020.

TERRAZZAN, E. A. **A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau**. In.: *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 9(3), Dezembro de 1992, p. 209-214. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392/6785>

TIELAS, A., GABRIEL, B., SANTOS, C. S., GARCIA, D., ALCORTA, J., BLANCH, M., . . . NETO, V. (2014). **Nanomateriais - Guia para o espaço industrial**. In.: *SUDOE*.

TOLEDO, I. **Educação: Sala de Aula Invertida e Ensino Remoto**, 17 de maio de 2020. Disponível em: <http://folhadeflorianopolis.com.br/2020/05/17/educacao-sala-de-aula-invertida-e-ensino-remoto/> > Acesso em 24 de Setembro de 2020.

TONET, M. D., & LEONEL, A. A. **Nanociência e Nanotecnologia**: uma revisão bibliográfica acerca das contribuições e desafios para o ensino de física. In.: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 36 (2), agosto de 2019, p. 431-456.

UMSNH, I. F. **Movimiento Browniano**. 12 de setembro de 2018). In.: *1 vídeo (3min:12s)*. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KSF8INFO85A&t=60s> > Acesso em: 21 de setembro de 2020.

ZANELLA, I., FAGAN, S. B., BISOGNIN, V., & BISOGNIN, E. **Abordagens em nanociência e nanotecnologia para o ensino médio**. Vitória-ES, janeiro de 2009. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/59373852/abordagens-em-nanociencia-e-nanotecnologia-para-o>

ZARBIN, A. J., & OLIVEIRA, M. M. (2013). **Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno)**: quo vadis? In.: *Quimica Nova*, 36(10), p. 1533-1539.